



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

---

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y POSGRADO EN INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA

“OPTIMIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE PRODUCTO MEDIANTE EL  
MODELO DE AGREGACIÓN DE INVENTARIO EN UNA EMPRESA DETALLISTA”

**TESIS**  
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
**MAESTRO EN INGENIERÍA**  
**INGENIERÍA EN SISTEMAS – INGENIERÍA INDUSTRIAL**

PRESENTA  
**INGENIERO ALFONSO CIPRIANO OCTAVIANO VILLASANA**

DIRECTOR DE TESIS  
DOCTORA MAYRA ELIZONDO CORTÉS  
2010





Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

---

**JURADO ASIGNADO**

**PRESIDENTE:** Dra. Balderas Cañas Patricia Esperanza

**SECRETARIO:** Dra. Monroy León Cozumel Allanec

**VOCAL:** Dra. Elizondo Cortés Mayra

**1ER. SUPLENTE:** Dr. Estrada Medina Juan Manuel

**2DO. SUPLENTE:** M.I. Hernández Casanova Rodolfo

**México, Distrito Federal  
Ciudad Universitaria**

**TUTOR DE TESIS:**  
Dra. Elizondo Cortés Mayra

---

**FIRMA**

---

# *Agradecimientos*

El presente trabajo de tesis es la culminación de un periodo de grandes esfuerzos y sacrificios. Dentro de este tiempo han habido personas que han dejado una profunda huella en mí y a quienes se debe la terminación de los estudios de maestría. Mi más profundo agradecimiento a cada una de ellas:

A mis padres

Quienes me han enseñado que el sacrificio y el esfuerzo son el inicio de las grandes recompensas y, cuyo amor y guía han sido fundamentales en la definición de la persona que hoy soy.

A mis hermanas,

Por haber compartido conmigo este tiempo y haberme cobijado con su cariño y apoyo.

A mi novia,

Quien me acompañó en cada paso de este viaje y quien, con su amor y apoyo, me impulsó a iniciar y terminar los estudios de maestría; mi principal inspiración y con quien escribo una nueva historia a cada instante.

A mis líderes en el trabajo

Por el apoyo e interés mostrado en el desempeño de mis estudios y en la culminación de los mismos, quienes mostraron toda la disposición a apoyarme y me tendieron la mano a cada momento.

A mis profesores,

Aquellos que han sido la luz y la guía en mi desarrollo como profesionista, que me han enseñado el valor del conocimiento y la satisfacción de la aplicación del mismo; mostrando siempre disposición y apertura.

A mis amigos,

Todos aquellos que han vivido junto conmigo este periodo y que me han tendido la mano y mostrado apoyo y cariño en cada paso, siempre he sabido que al voltear ustedes estarán allí.

El siguiente trabajo de tesis de maestría es para todos ustedes en agradecimiento.

## Índice

Resumen .....	1
Introducción.....	4
<b>Capítulo 1 – Descripción del sistema</b>	
1.1 La industria detallista y sus retos .....	8
1.2 La industria detallista en México .....	12
1.3 La empresa detallista a estudiar.....	15
1.4 Problemática .....	19
1.5 Objetivo .....	23
<b>Capítulo 2 – Marco teórico</b>	
2.1 Naturaleza de los sistemas de inventario .....	25
2.1.1 Planeación de la demanda .....	26
2.1.2 Administración de excepciones.....	28
2.1.3 Revisión de la clasificación ABC.....	29
2.1.4 Registro de métricas y mejoras al pronóstico .....	30
2.2 Nivel de servicio e Inventario de seguridad .....	32
2.2.1 Mediciones del nivel de servicio .....	32
2.2.2 Nivel de servicio dado un inventario de seguridad.....	35
2.2.3 Inventario de seguridad dado un nivel de servicio .....	37
2.2.4 Formas de reducir el inventario de seguridad .....	38
2.3 Variabilidad del tiempo de entrega ( <i>Lead Time</i> ).....	39
2.3.1 Tiempo de entrega .....	39
2.3.2 Variabilidad en el tiempo de entrega.....	40
2.4 Pronósticos.....	42
2.4.1 Tipos de pronósticos .....	42
2.4.2 Métricas de evaluación .....	43
2.4.3 Medición del error de pronóstico .....	43

2.5 Técnica y modelo de pronóstico .....	44
2.5.1 Suavizamiento exponencial – Modelo con temporalidad.....	44
2.6 Modelo de agregación de invnetario .....	50
2.6.1 Principio de agregación y agrupación de inventario.....	50
2.6.2 Estructura de planeación .....	51
2.6.3 Métodos de agregación y desagregación de pronósticos.....	52
2.6.4 Agrupación del inventario a través de la agregación.....	54
<b>Capítulo 3 - Metodología</b>	
3.1 Estrategia metodológica.....	59
3.2 Selección del grupo de estudio .....	60
3.3 Establecimiento del nivel de servicio y del inventario de seguridad .....	61
3.4 Pronóstico y agregación de inventario.....	62
<b>Capítulo 4 – Resultados</b>	
4.1 Demanda en el periodo de exposición y tiempo de entrega .....	66
4.2 Probabilidad de existencia de producto.....	72
4.3 Nivel de servicio .....	72
4.4 Inventario de seguridad .....	73
4.5 Pronóstico .....	75
4.5.1 Inicialización del pronóstico.....	79
4.5.2 Actualización del pronóstico .....	81
4.5.3 Medición de errores.....	86
4.5.4 Ajuste de parámetros $\alpha$ y $\gamma$ .....	87
4.5.5 Medición del error de pronóstico .....	88
4.5.6 Generación del pronóstico para el año 6.....	90
4.6 Análisis de resultados.....	97
<b>Conclusiones y recomendaciones.....</b>	<b>104</b>
<b>Glosario de términos .....</b>	<b>109</b>
<b>Bibliografía y referencias .....</b>	<b>110</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>112</b>
<b>Apéndice – Teoría de pronósticos.....</b>	<b>i</b>

## RESUMEN

Las empresas utilizan los inventarios de seguridad como una protección contra posibles faltas de inventario derivados de demandas inesperadas y fallas de abasto. La meta es asegurar que se cuente con el suficiente producto para hacer frente a las necesidades de la compañía y satisfacer las necesidades de los clientes, a pesar de tener incertidumbre en la demanda. La probabilidad de que la mercancía que se tiene sea suficiente como para satisfacer la demanda del cliente se llama nivel de servicio, el cual mide el grado de protección contra el desabasto que se provee al contar con un cierto nivel de inventario de seguridad. El nivel óptimo de servicio debe tener un balance entre el costo de almacenamiento y los costos en los que se incurre al no contar con la mercancía.

El nivel de servicio y el inventario de seguridad dependen de la variabilidad que se tenga en el proceso. Contar con una menor variabilidad, permite aumentar el nivel de servicio al cliente, mientras se disminuye la necesidad de inventario de seguridad. Lo anterior tendrá como resultado mayor satisfacción de la demanda a un menor costo. Algunas acciones que ayudan a reducir la variabilidad son:

- Mejora del pronóstico.
- Reducción del Tiempo de Entrega (*Lead Time*).
- Agrupamiento “*pooling*” y agregación de inventario.

Las organizaciones deben tener claros cuáles son los productos que le representan la mayor importancia. Para hacerlo, es necesario definir primero cuál concepto se requiere evaluar, ya sea por la aportación que generen los productos a la venta, por el costo del inventario o algún otro. Para esto se deben apoyar en técnicas y procedimientos que les permitan conocerlos con mayor certeza.

En este estudio se llevó a cabo la clasificación de productos, de acuerdo a su participación en ventas. Tras la clasificación, se identificó un tipo de producto que requiere de un manejo especial. Esto se debe a que es voluminoso, de peso relativamente liviano y con un costo de almacenaje alto, pero cuya aportación a las ventas de una empresa detallista es alta.

El producto elegido por cumplir con las características anteriores fue el colchón. Hay que tener en cuenta que los colchones pueden ser de varios tipos y tamaños. Cada uno de estos tipos presenta diferencias en su punto de precio, una rotación particular y una preferencia diferente por los clientes. Ejemplos de esto son las diferencias entre los colchones individuales, los *queen size* y los *king size*, cada uno presenta características particulares. El estudio se basa en los colchones individuales, ya que son los que presentan la mayor demanda. El hecho de tener una contribución importante en los ingresos de las organizaciones que los venden, aumenta la necesidad de encontrar una mejor manera de administrar sus inventarios.

Otro factor importante para el estudio fue la plaza de venta, por lo que se eligieron las unidades de negocio que representaron el 80% de las ventas totales del producto. Estas

tiendas se ubican a lo largo del país, con lo que se trabajó con una muestra representativa de éstas. Hecho lo anterior, se propuso un método de evaluación a través de la **agregación del inventario**.

La selección del método de agregación de inventario fue para poder atender uno de los principios de los pronósticos listado en el libro “*Managing Business Process Flow*” (Anupindi, 1999, 6), el cuál es “*un pronóstico agregado es más acertado que un pronóstico particular*”. Es decir, es más acertado decir cuántos colchones individuales se requerirán dentro de un periodo, que decir cuántos colchones individuales azules con decoración de flores y cuántos colchones individuales grises con tela lisa se requerirán dentro del mismo periodo. Para poder llegar a este nivel de detalle, se hizo la revisión del inventario agregado, y luego desagregar por participación de los productos particulares.

El procedimiento se simuló, tanto para el año 2008 (de control) como para el año 2009 (en producción). Las desviaciones entre ambos procesos se midieron, sin aplicar el método y tras su aplicación.

Finalmente, se obtuvieron resultados para el año en producción con y sin el modelo propuesto. Estos resultados se contrastaron para verificar la reducción en el error de pronóstico. Para verificar el impacto monetario, se asignó un valor a cada unidad y se midió el ahorro tras la aplicación del modelo. Así, aumenta la disponibilidad de producto reduciendo el error en el pronóstico de demanda, el requerimiento de inventario de seguridad, y costos de operación.

## INTRODUCCIÓN



Figura 1. Diagrama inicial del estudio. Elaboración propia.

Algunos de los atributos clave que han llevado a los detallistas al éxito, son las habilidades y conocimientos sobre la administración de la cadena de abasto y del inventario. Los cambios en el mercado y en los gustos de los clientes hacen imperativo buscar nuevas y mejores maneras de lograr la administración del inventario y la obtención de pronósticos que den mayor certidumbre, todo enfocado en satisfacer la demanda.

De acuerdo con la Asociación de Líderes en la Industria Detallista (RILA, 1) la cadena de abasto es una red de entidades, las cuales se ven envueltas en la producción, el embarque y la distribución de productos. Cada entidad es un eslabón en movimiento del producto, que va desde la materia prima hasta su compra por un consumidor final. Una clásica cadena de abasto consta de:

- Proveedores.
- Productores.
- Transporte y logística.
- Centros de distribución.
- Empresas detallistas.
- Clientes.

El correcto manejo de la información entre estos involucrados, es lo que llevará a la cadena a tener un comportamiento cada vez mejor y más refinado. Dentro de la industria detallista se tiene una amplia variedad, lo cual vuelve cada vez más complicada la administración de su inventario. Aunado a esto, el número de tiendas que se han abierto y la creciente competencia, aumenta la necesidad de contar con sistemas cada vez más precisos para estimar la demanda y más rápidos para abastecer las tiendas.

Hoy en día, las compañías detallistas implementan diversos modelos de inventario para el manejo de la mercancía. Estos modelos deben responder a las necesidades de un catálogo diverso y amplio en cada unidad de negocio. Para poder tener un mejor control de la mercancía, será necesario identificar las necesidades de cada artículo, de acuerdo a su naturaleza, y darle un tratamiento diferenciado.

De acuerdo con la Academia de la Cadena de Abasto (Supply Chain Academy, 2), se debe buscar optimizar la cadena de abasto en su totalidad. Esto implica hacer especial énfasis en los artículos que representan problemas de volumen, costo de almacenaje y costo de transporte. Por ejemplo, un artículo muy pesado no podrá llenar un camión, ya que se excederá el peso. Por otro lado, un artículo muy liviano, pero voluminoso, podrá llenar el camión, pero sub utilizará la capacidad de tonelaje del transporte. Finalmente, debe existir un equilibrio entre el costo de transporte o almacenaje y su aportación a la venta. Lograr un sistema que englobe lo anterior, hará a la cadena más rentable.

En este estudio se abordó el caso de los colchones individuales. Este tipo de mercancía resulta de interés por su participación en las ventas de la industria detallista. Como se describió anteriormente, estos son artículos que requieren de una administración cuidadosa de inventario y de una precisa planeación de demanda para poder hacer frente a las necesidades del consumidor, sin representar un problema de inventario en las unidades de negocio. Lo anterior significa que se debe contar con un método que permita asegurar la disponibilidad del producto para cuando lo requiera el consumidor, en las cantidades adecuadas y en el tiempo adecuado.

El objetivo de este estudio, precisamente, fue encontrar un método que permitiera aumentar la disponibilidad de producto en piso de venta. Para poder lograrlo, se tomó en cuenta que las empresas requieren invertir no sólo para la venta en sí, sino también en inventario que les permita reaccionar ante posibles cambios en la demanda o fallas durante el proceso de abasto, conocido como “inventario de seguridad”. Buscar aumentar el nivel de servicio al cliente, implica aumentar el nivel del inventario de seguridad, lo cual es costoso; lo anterior significa que se debe tener una correcta estimación y planeación de la demanda para evitar costos excesivos. De esta manera, se podrá tener inventario suficiente para satisfacer al cliente, sin tener que cargar un excesivo inventario de seguridad.

Para poder lograr contar con mercancía suficiente para la venta, así como hacer frente a demandas inesperadas o fallas en el proceso de abasto, se debe contar con una herramienta de pronóstico que permita aumentar la certeza en la planeación. Al estudiar el comportamiento histórico de los colchones se observó una demanda estacional, es decir, presentó picos y valles a lo largo del año. Como resultado de la revisión de la demanda de

estos productos, se encontró que el comportamiento era cíclico, lo que significaba que el patrón se repetía cada ciclo. Por lo anterior, se eligió la técnica de suavizamiento exponencial con temporalidad.

Antes de aplicar las técnicas descritas, se estableció a qué nivel se hará el pronóstico de demanda. El nivel puede ser desde lo más general (categoría o departamento), hasta lo más específico (marca, tamaño, color). De acuerdo con Ravi Anupindi (Anupindi, 1999, 6), el pronóstico tiende a ser más certero cuando se hace a niveles más generales, que cuando se hace a niveles particulares. Esto quiere decir que da mayor certeza estimar la venta de los colchones individuales como grupo, que tratar de estimar la demanda de cada colchón individual por separado. A esto se le conoce como **agregación de inventario**, el cual es en el que se basó este estudio.

Como parte del estudio, se tuvieron objetivos específicos como la evaluación entre el método utilizado actualmente y el propuesto. También aumentar la disponibilidad de producto en piso de venta, junto con la reducción en la variabilidad en los niveles de existencia y desabasto de mercancía. Finalmente, evaluar la pertinencia de implementar el modelo de agregación de inventario propuesto.





- Proliferación de opciones para los clientes

Como resultado de su estudio, se obtuvo que para hacer frente a estos retos, las empresas detallistas deben tomar en cuenta algunos aspectos cruciales a estudiar:

- La conversión del cliente.
- Estrategias de crecimiento.
- Reducción de costos.
- Precisión del detallista.



Figura 2 Retos para el crecimiento detallista. Deloitte 2007.

Si bien, la industria detallista se enfrenta a estos nuevos retos, también se ha estado viendo afectada por cambios dentro de su estructura comercial. Se ha visto que la consolidación entre empresas, ha reducido en forma importante el número de competidores. Esto ha provocado que la competencia en México, se de entre tres o cuatro compañías. Sin embargo, de acuerdo a Deloitte Consulting (Deloitte, 2007, 4), esos competidores han ido perdiendo participación de mercado en sus categorías o productos. Las grandes compañías, al buscar consolidaciones, voltean a ver a los actores locales y pequeños para seguir creciendo. Por otro lado, se tiene que los actores locales se unen entre ellos con la finalidad de enfrentar la competencia. Esto hace que, en América Latina, los cinco actores

principales de la industria detallista, sólo tengan en promedio la tercera parte del mercado. En los mercados desarrollados, este número llega a ser el 50% de la participación.

Las empresas detallistas han invertido en tecnología e investigaciones para reducir la estructura necesaria para soportar el uso de los nuevos sistemas y aumentar la velocidad con la que fluye la información. De acuerdo a Deloitte Consulting (Deloitte, 2007, 4), la inversión de las empresas ha tenido un crecimiento exponencial en estas tecnologías.



Figura 3 Tecnología como parte del PIB. Deloitte 2007.

Esta tecnología se está usando para poder aumentar la precisión del detallista. La industria busca comprender cada vez más el comportamiento de los clientes y sus necesidades. Este entendimiento lo utiliza para tomar decisiones relacionadas con los aspectos logísticos como planeación de demanda, estrategias de abasto, agrupación de tiendas y canales de distribución junto con decisiones comerciales. Esto busca dar respuesta a las siguientes preguntas:

- ¿Las mercancías satisfacen las necesidades de los clientes?
- ¿La marca logra que los clientes regresen a consumir?
- ¿El producto y su precio maximizan la rentabilidad?

Las compañías han dependido mucho de la experiencia y del “arte” de vender para la toma de decisiones. Al día de hoy, la necesidad de satisfacer al cliente para mantenerse en la competencia, requiere que las decisiones se tomen de una forma más precisa y con bases científicas, más que empíricas. Al contar con técnicas y métodos que permitan el

análisis de datos que fundamenten las decisiones, la industria podrá fortalecerse y alcanzar un su mayor potencial.

Generar y sustentar un crecimiento significativo, se ha vuelto una prioridad para la industria. Las empresas, tradicionalmente, recurren a modelos que dependen de nuevas tiendas, adquisiciones defensivas, consolidaciones o iniciativas extraordinarias. Estas medidas derivan beneficios a corto y mediano plazo, además de que generan crecimientos rápidos e importantes. Sin embargo, estos métodos no aseguran un crecimiento sustentable. La clave para crecer es lograr operar al menor costo posible y satisfacer las necesidades de los clientes en forma constante. Esto se logra a través de la correcta planeación de la demanda que permita generar planes comerciales fundamentados y alcanzables.

## 1.2 LA INDUSTRIA DETALLISTA EN MÉXICO

La situación anteriormente descrita, urge a las compañías detallistas en México a desarrollar nuevos métodos que permitan reducir los costos, conservar o aumentar su participación en el mercado y apuntalar el crecimiento. Para esto, la industria ha se enfoca en la búsqueda de reducción de costos por todo el mundo. Según Price Water House Coopers, México (Price Water House Coopers, 3) en el caso de México, esto se logra por varios medios, uno es con los proveedores, quienes buscan reducir los costos de producción de los artículos a través de la localización de plantas en lugares de menor costo y conseguir materia prima barata y de calidad. En el caso de los transportistas, se han generado más puntos de embarque o nodos, en los cuales buscan que los transportes se optimicen en su uso y tonelaje. Las empresas detallistas, buscan esta reducción de costos a través de tener el inventario correcto y en buenas condiciones. Este inventario debe ser suficiente para satisfacer las necesidades de los clientes, cubrir la unidad contra variaciones en la demanda y fallas en el abasto; mas no debe ser excesivo ni generar sobre inventarios que mermen la utilidad del negocio.

De acuerdo con PWC (Price Water House Coopers, 3) las oportunidades de la industria detallista en México son muy grandes debido a la competencia que se ha generado al participar importantes firmas trasnacionales, las cuales compiten con las empresas detallistas tradicionales y contra el mercado informal. De acuerdo a sus estudios, la competencia la genera la población joven, ya que demanda moda, artículos de hogar y mercancías generales a un mejor precio y con una mayor oportunidad. Esta población no creció con la tradición de lealtad a la marca, sino que busca los sitios en donde se satisfagan sus necesidades mejor de producto, precio, promoción y plaza.

Los proveedores nacionales, son desafiados para adaptarse y responder a las necesidades de bajar los costos y de mejorar la eficiencia en la cadena de abasto. Como referencia, en México la Secretaría de Economía supervisa el convenio entre proveedores y la industria detallista llamada “Convenio para Mejorar las Prácticas Comerciales y Fomentar a las PYMES”. Dicho convenio busca sentar bases para la relación comercial.

PCW (Price Water House Coopers, 3) ubica la actividad económica de la industria detallista con una participación del 20% del Producto Interno Bruto Nacional. Esto verifica que la actividad de la industria es de gran importancia a nivel nacional. Por lo que su correcto funcionamiento y eficiencia representa impactos positivos en la economía.

En el entorno dinámico actual, una gran cantidad de compañías están generando alianzas y sociedades, con el fin de fortalecer sus estrategias de mercado. Esto requiere del involucramiento de varios especialistas en diferentes disciplinas que apoyen la toma de decisiones con bases científicas y demostrables para generar el crecimiento sustentable de la industria nacional.

Comprender las necesidades del mercado permitirá diseñar estrategias para enfrentar los retos actuales. Este marco de acción, debe abarcar los procesos de

abastecimiento, producción, distribución; involucrando a todos los actores de la cadena de abasto.

En lo que respecta a la optimización de la cadena de abasto PWC (Price Water House Coopers, 3), plantea que la administración de la cadena abarca múltiples procesos que van desde la transformación de materiales en productos y la distribución a los puntos de venta a través de diferentes canales de distribución, hasta su venta en la tienda. Debido a la necesidad de aumentar ventas y utilidades, así como la disponibilidad de nuevas tecnologías y el énfasis en el aumento del valor, la cadena de abasto se ha redefinido convirtiéndose en un elemento estratégico para las organizaciones generando una mayor colaboración entre los actores y aumentando la relación costo-beneficio, una administración más eficiente de los inventarios y mayor velocidad en la transmisión de información, todo este traduciéndose en excelencia operativa.

Dada la complejidad de la industria detallista, se debe poner especial atención en la mejora de las cadenas de abastecimiento. Las empresas detallistas en México tienen una cadena muy extensa, por lo que se enfrentan a diversos retos:

- Reducir el desperdicio de recursos.
- Mejorar la relación con proveedores.
- Reducir los costos de operación.
- Mejorar la administración de los inventarios.

De acuerdo con la revista *Expansión* (Expansión, 2008, 5), de Grupo Editorial Expansión, en su número sobre las 500 empresas más importantes de México. La conformación de las industrias detallistas en el año 2008 fue la siguiente (Expansión,2008):

RANK	Empresa	Ventas	%Part en Vetna	Empleo	Sector
5	A	\$224,976	32.6%	157,432	Comercio autoservicio
20	B	\$73,646	10.7%	51,751	Comercio autoservicio
26	C	\$65,191	9.4%	63,472	Comercio autoservicio
27	D	\$62,633	9.1%	44,815	Comercio autoservicio
29	E	\$60,995	8.8%	21,159	Comercio autoservicio
34	F	\$50,409	7.3%	40,484	Comercio autoservicio
43	G	\$42,103	6.1%	15,824	Comercio autoservicio
82	H	\$21,836	3.2%	9,382	Comercio autoservicio
98	I	\$18,290	2.7%	12,918	Comercio autoservicio
129	J	\$13,200	1.9%	5,172	Comercio autoservicio
138	K	\$12,527	1.8%	8,302	Comercio autoservicio
146	L	\$11,575	1.7%	9,058	Comercio autoservicio
150	M	\$10,928	1.6%	5,500	Comercio autoservicio
178	N	\$7,976	1.2%	34,811	Comercio autoservicio
199	O	\$6,520	0.9%	4,385	Comercio autoservicio
224	P	\$5,481	0.8%	nd	Comercio autoservicio
425	Q	\$973	0.1%	1,478	Comercio autoservicio
441	R	\$861	0.1%	nd	Comercio autoservicio

Figura 4 Industria detallista en México. Expansión 500, 2008.

Con esta distribución, se tiene que el 70% de las ventas de la industria detallista del autoservicio la generan sólo cinco empresas, las cuales generan también el 70% de los empleos del sector. Esto demuestra que la competencia se reduce a sólo unas cuantas empresas en México.

### 1.3 LA EMPRESA DETALLISTA A ESTUDIAR

La empresa de interés cuenta con unidades de negocio, o puntos de venta, ubicadas alrededor de toda la República Mexicana. Dichas unidades se dividen de acuerdo al giro ya sea autoservicio, restaurantes, departamentales o los clubes de precio. Al día de hoy, la empresa es la que tiene más unidades que se dedican al autoservicio. El estudio se enfocará en un grupo de tiendas, las cuales presentan las características de contar con unidades de venta en todo el país, un catálogo extenso de productos y que aportan el mayor margen de utilidad al total del negocio.

Estas tiendas se abastecen de diferentes Centros de Distribución (CEDIS), ubicados en diferentes partes del país. Éstos se ubican en el Distrito Federal y su Zona Metropolitana, en el Suroeste, en el Noreste y al Noroeste del país. Cada uno de los CEDIS brinda servicio a un cierto número de tiendas, las cuales se alinean a ellos, dependiendo de su localización geográfica, para lograr la mínima distancia, tiempo y costo para el abasto.



Figura 5. Red de distribución existente. Elaboración propia.

Actualmente, el proceso para generar un pedido es el siguiente. La empresa trabaja con un sistema basado en comportamientos históricos, el cual revisa los cambios en la demanda de acuerdo a la temporalidad. Cada artículo se incluye en los registros de venta obtenidos de acuerdo al comportamiento presentado en años anteriores. Antes de revisar el requerimiento de pedido, se establece el pronóstico de venta para el artículo en la tienda. Con este dato, se hace una revisión que contempla el ciclo de revisión del proveedor, el tiempo que tarda en llegar el artículo a la tienda, la necesidad de inventario de seguridad y el pronóstico de venta obtenido. Con este punto de reorden que se obtiene, se establece el máximo a pedir, de acuerdo a la estrategia de abasto para el artículo, esta puede ser semanal, quincenal, etc. Una vez calculados estos dos puntos de inventario, el que ubica *cuándo pedir* y el que ubica *cuánto pedir*, se revisa contra la cantidad de producto con el que cuenta la tienda y se toma la decisión sobre si se debe pedir o no un artículo.



Figura 6 Flujo actual en la elaboración de pedidos. Elaboración propia.

Para la elaboración de los pronósticos, se utiliza el pronóstico que se publica en sistema. Como se describió anteriormente, este cálculo se basa en el comportamiento histórico de venta. Primero, se considera el promedio de las ventas de las semanas anteriores para establecer un nivel de venta. Luego se utiliza un índice temporal, que indica si se espera un incremento o un decremento en la demanda. Ambos números se multiplican para obtener el pronóstico de la semana siguiente. Este cálculo se hace para cada artículo en cada tienda y se publica en el sistema. El método presenta el problema de ser muy detallado y se ve afectado cuando una tienda se empieza a quedar sin mercancía o cuando alguna de ellas tiene algún problema para la venta o retrasos en el arribo. Cualquier variación en el abasto normal, inhibe fuertemente el pronóstico, por lo que se pueden tener variaciones importantes con respecto a las ventas reales.

Una vez que se genera el pedido, se transmite al proveedor, quien lo debe entregar dentro del periodo de vigencia que tiene la orden de compra al CEDIS. Tras la entrega, el CEDIS hace un proceso de Cruce de Andén, embarcando a la tienda correspondiente. Este embarque comprende casi todos los artículos que serán abastecidos a la unidad, por lo que el colchón estará “conviviendo” con artículos de otra naturaleza.

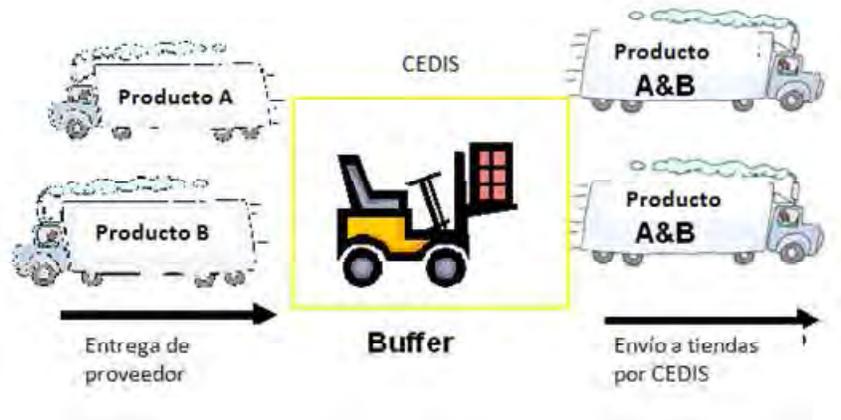


Figura 7. Diagrama Cruce de Andén. Supply Chain Academy.

Cuando el transporte llega a la tienda, se descarga de acuerdo a los departamentos correspondientes. Los artículos se llevan a piso de venta y se colocan en los muebles destinados para la exhibición. El producto sobrante es tratado de una de las siguientes maneras:

- Colocar todo el producto en el mueble, lo que provoca probable daño del empaque y rechazo del cliente.



Figura 8. Colchones en piso.

- Colocar el producto en alguna parte diferente de la tienda, lo cual provoca falta de control de inventario, merma y pérdida de la mercancía.



Figura 9. Colchones en otro sitio.

- Regresar el producto a bodega, lo que genera saturación de este espacio y tener que usar, incluso, las oficinas administrativas para guardar mercancía sobrante.



Figura 10. Colchones en bodega.

Cualquiera de las condiciones anteriores tiene impactos negativos en las tiendas y termina por no satisfacer las necesidades de los clientes. Siendo muy importante contar con el producto en las cantidades correctas y en el tiempo correcto para responder a la demanda.

## 1.4 PROBLEMÁTICA

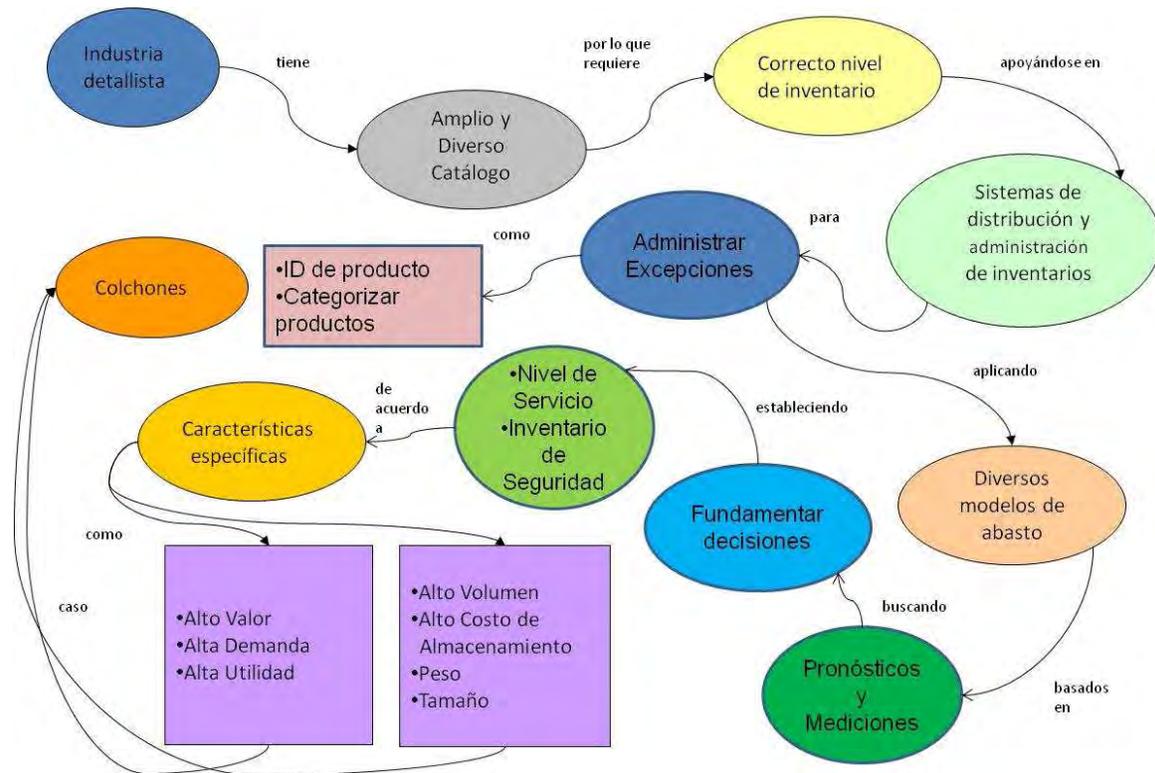


Figura 11. Mapa conceptual. Problemática.

El comportamiento de la industria detallista es muy complejo y delicado. El primer problema que presenta, es quizás, también una de sus fortalezas. Se cuenta con un catálogo muy extenso de artículos del mismo tipo. Esto quiere decir que de un colchón individual, se pueden tener 6 o más tipos, lo que conviene al cliente por aumentar sus opciones de decisión, pero provoca tener mucho inventario. Esto genera una creciente necesidad de administrar los inventarios con mayor asertividad. El producto no debe faltar en piso, pero tampoco debe ser tanto que merme la utilidad.

Para apoyar la administración del inventario, la empresa de interés, se basa en un sistema que registra los movimientos de inventario, ya sea por venta, compra o merma en piso. Con estos datos se alimenta un complejo programa que realiza los cálculos sobre el pronóstico de las siguientes semanas y compara el requerimiento contra la disponibilidad de producto en tienda. Estos cálculos se realizan usando un modelo matemático amplio y complejo, el cual es administrado y ajustado en sus variables por un área específica.

Esta área se encarga de administrar las excepciones generadas, las cuales se traducen en dos: excedentes o faltantes. El área se encarga de llevar a cabo la identificación de los productos y categorizarlos por tipo. Además, se encarga de generar los pronósticos de demanda y compra requeridos para alcanzarla. Esto se lleva a cabo con un modelo de

inventario que se basa en el suavizamiento exponencial. El problema es que el trabajo se hace a nivel artículo-tienda, teniendo que hacer la revisión de miles de datos. Esto provoca que se vuelva complejo y lento.

Las decisiones se deben fundamentar bajo bases científicas y sólidas. Sin embargo, el no contar con un método estándar y controlado para la generación de los pronósticos y llevar a cabo las mediciones, hace que la variabilidad de criterios y formas de trabajar retrasen la toma de decisiones. Esto impacta en la medición del nivel de servicio y del inventario de seguridad. Lo anterior, debido a que no se tiene medida la necesidad de inventario de seguridad para lograr un cierto nivel de servicio. Actualmente, la medición se realiza a través de un *business plan* que ubica los días de inventario, por lo que se puede usar como base para ubicar el nivel de servicio y el valor del inventario de seguridad que se requiere.

En el caso de los colchones, se sabe que son artículos que requieren de un manejo especial en su inventario. Esto por sus características de ser voluminosos, relativamente livianos y difícil manejo. Sin embargo, se tratan de producto de gran importancia dentro del autoservicio, y en especial dentro del departamento que venda los productos relacionados con cama y descanso. Esto es por la demanda que presenta, la contribución a la venta y al margen. Esta importancia es tan alta que puede representar el 60% de la venta del departamento y aportar el 40% del margen de éste.

En el piso de venta, se genera uno de dos problemas, se puede tener el artículo agotado o se puede tener el artículo en exceso. Esta situación se debe a la combinación de varios factores que alteran su desempeño. Cada uno de los factores se revisa en forma individual.

Uno de los factores que generan el problema, es el tiempo de entrega de la mercancía. Este tiempo comienza en el momento en que se genera el pedido al proveedor y termina en el momento que la tienda recibe la mercancía. El problema observado es que se requiere de una medición más precisa de éste para conocer con certeza. Otro problema es que puede variar por cuestiones del proveedor o cuando hay retrasos por parte de la operación. En este caso, el faltante se provoca porque el tiempo de arribo es mayor al estimado y el excedente se provoca porque el tiempo es menor al estimado, en otras palabras, llega después o antes de lo necesario.

El siguiente problema se genera por la falta de entrega del proveedor. El Centro de Distribución debe hacer el envío a tiendas de acuerdo al total de lo que pidió cada una, por lo que cuando el proveedor no entrega al 100% lo que se le pide, la mercancía entregada no puede ser prorrateada a para todas las tiendas. Esto provocará que haya tiendas a las que no les llegue la mercancía y generará los faltantes. Esto impactará en errores sobre las estimaciones de requerimiento, por falta de visibilidad.

Otro problema se genera en piso de venta por el tamaño de la unidad. Hay tiendas que son muy pequeñas, pero que venden mucho el colchón. Estas tiendas caen en agotado, ya que si se les envía mucho producto, se genera un problema operativo en piso por no

tener dónde guardar el colchón. Otras tiendas son grandes y tienen muebles con alta capacidad de almacenamiento. En estos casos se provoca un excedente, ya que se requiere llenar el mueble, pero este volumen puede no corresponder a la rotación de los artículos.

De manera análoga, se pueden tener problemas en el almacenamiento de la mercancía. Si no se tiene un correcto registro de lo que se tiene en bodegas, se puede estar enviando mercancía, aún cuando la tienda cuenta con producto. Por el otro lado, también se puede considerar que la tienda cuenta con colchones, cuando la realidad es que no es así, mermando la venta. Otro problema con el almacenaje, es que se pueden dañar los colchones por la manipulación de la operación al sacarlos.

Estos problemas con la operación, ya sea desde Centro de Distribución o en piso de venta, pueden generar mermas del producto por daño. Esto impacta directamente sobre la preferencia del cliente. Al momento que el producto está maltratado, se saca de piso de venta y se debe solicitar mercancía para reponerlo. Esto genera excedentes, ya que al no rotar, los días de inventario de la tienda aumentan. Por otro lado, al momento de mermar las existencias, la tienda cae en agotado, teniendo que esperar a que llegue el siguiente pedido.

En el caso de los transportes, se puede generar faltantes en tienda por tener que esperar a que los camiones se llenen y justifiquen el envío a tienda. Esto sucede con tiendas lejanas y de baja rotación o con proveedores cuyos artículos también presentan baja rotación. El enviar un transporte con poca mercancía es muy caro, por lo que el proveedor o Centro de Distribución esperan a juntar más mercancía.

Todos los problemas anteriormente mencionados, se pueden abordar a través de la corrección de las estimaciones. Este es el problema en el que se centrará el estudio y la razón de proponer el método de agregación de inventario. Cuando la estimación está mal hecha, la probabilidad de generar un excedente o un agotado es muy alta. Ya sea porque se pronostica de más o el pronóstico se queda corto. Esto generará fallas en las ventas y en los inventarios de la tienda. Por otro lado, si los proveedores cuentan con una estimación cercana sobre la demanda de los productos, podrán realizar la planeación necesaria para producción y embarque. El pronóstico debe ser medido continuamente para asegurar su confiabilidad y compartido con las áreas que lo requieran para elaborar los planes de demanda correspondientes.

El siguiente diagrama de Ishikawa muestra la relación entre estos factores.



Figura 12. Causas de excedente o faltante. Elaboración propia.

Dada la problemática descrita, se planearon las siguientes preguntas:

- ¿Cómo evaluar un modelo alternativo de abasto?
- ¿Cómo garantizar la disponibilidad de producto en piso de venta?
- ¿Es posible reducir la variabilidad del nivel de servicio y del inventario de seguridad?
- ¿Cómo implementar el modelo de agregación de inventario?
- ¿Es pertinente implementar el modelo propuesto en el sistema?

En el presente estudio se dio respuesta a estas preguntas.

## 1.5 OBJETIVO

Una vez identificada la problemática del sistema, se establecieron los siguientes objetivos:

### General

Aumentar la disponibilidad de colchones en una empresa detallista, al elevar el nivel de servicio, mejorar el valor del inventario de seguridad y reducir el error de pronóstico; a través de la aplicación de un modelo de agregación de inventario como política de abasto.

### Específicos

- Evaluar un modelo alternativo de abasto al utilizado actualmente.
- Garantizar la disponibilidad de producto en piso de venta.
- Reducir la variabilidad de niveles de existencia y desabasto de mercancía.
- Evaluar la pertinencia de implementar el modelo de agregación de inventario propuesto.



## CAPÍTULO 2 – MARCO TEÓRICO

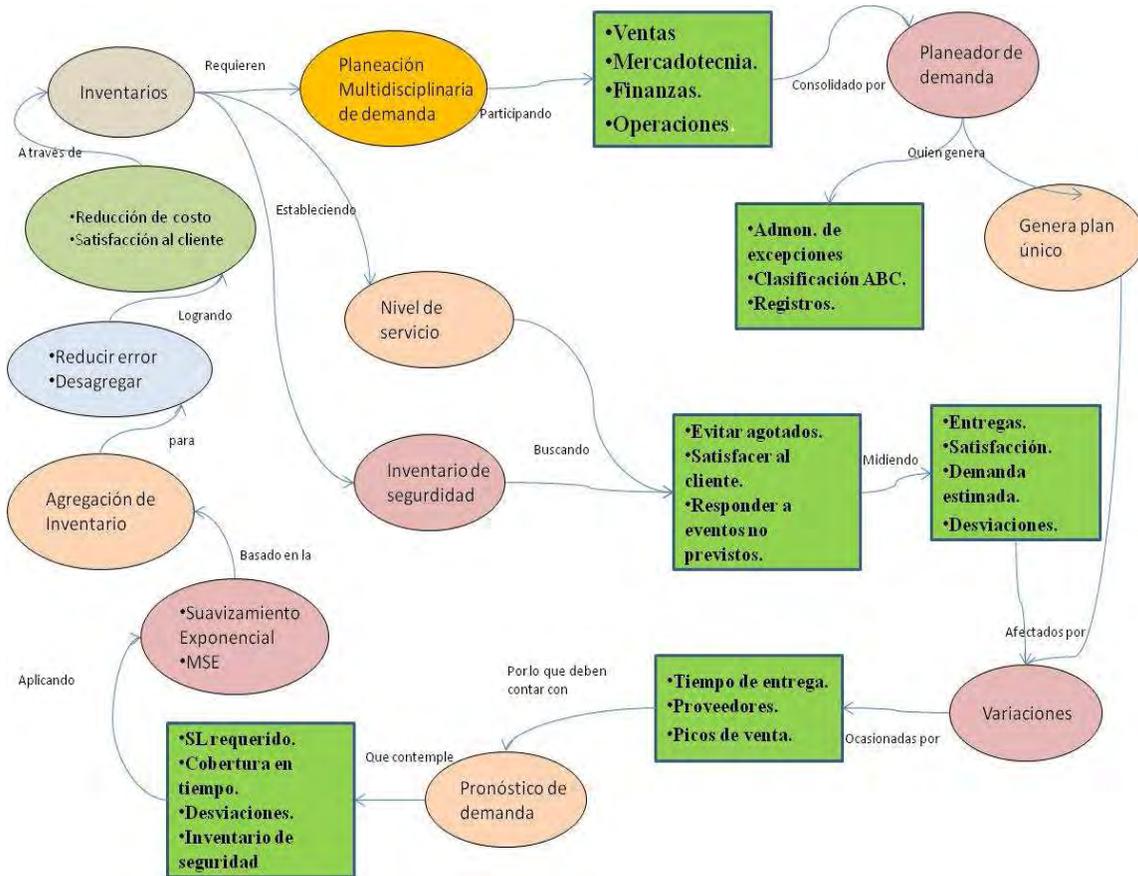


Figura 1. Mapa conceptual. Marco Teórico. Elaboración propia.

### 2.1 NATURALEZA DE LOS SISTEMAS DE INVENTARIO

Unir la demanda con el abasto es un aspecto crítico en toda organización para la administración de los inventarios, debido a que se debe contar con producto en existencia suficiente, en cantidad y oportunidad, para satisfacer al cliente. Ambos conceptos se pueden ver afectados por variaciones no previstas o incertidumbre en el proceso. La demanda se ve afectada por compras no previstas de los clientes, como en casos emergencias o eventos puntuales que alteren la demanda normal. Por otro lado, el abasto se puede ver afectado por factores como cambios en el tiempo de arribo y problemas de producción o embarque de los proveedores. Esto puede ocasionar falta de producto, pérdida de venta e insatisfacción del cliente. La persona encargada del proceso puede responder a esto con una cantidad adicional de inventario en almacén, con la finalidad de absorber las fluctuaciones del proceso y, así, mantener la disponibilidad del producto, a pesar de la variabilidad del abasto o la demanda.

Para poder hacer la planeación de demanda se debe generar un pronóstico. Dicho pronóstico debe comprender el volumen necesario para responder a las necesidades, tanto del cliente como del negocio y estimar los crecimientos esperados de venta y disponibilidad. De igual manera, debe buscar corregir los momentos en que se agota o se excede la cantidad necesaria de producto. Esto se hará analizando el comportamiento histórico, tanto de la demanda como del abasto. De esta manera se establecerá el nivel de servicio requerido y la cantidad de inventario de seguridad necesaria para lograrlo considerando que este último dependerá de lo acertado que se tenga ese pronóstico. Para poder lograr esto, se deben tener en cuenta varios conceptos, tales como:

- Pronóstico de la demanda y el error del pronóstico.
- Nivel de servicio e inventario de seguridad.
- Variabilidad del tiempo de entrega (*lead time*).
- Agregación de inventario.

### 2.1.1 PLANEACIÓN DE LA DEMANDA

De acuerdo con la Academia de la Cadena de Abasto (Supply Chain Academy, 2), en la industria detallista la planeación de la demanda ayuda a una organización a estimar:

- ¿Qué quieren los clientes?
- ¿Cuánto quieren?
- ¿Cómo lo quieren?
- ¿Cuándo lo quieren?

Responder a estas preguntas es la base para la elaboración de planes de negocio.

Las principales situaciones a las que se enfoca la planeación de la demanda son:

- Consolidar en un solo plan de demanda los múltiples planes por área que haya, de tal forma que pueda ser utilizado por toda la organización.
- Lograr una mayor estabilidad a lo largo de la cadena y dar mayor visibilidad de la demanda.
- Sustentar las decisiones de negocio.

La meta de la planeación de la demanda es generar un solo plan de demanda a lo largo de toda la organización. Frecuentemente, las unidades de organización de una

compañía tienen diferentes objetivos y puntos de vista, y, por lo tanto, desarrollan planes diferentes de demanda. Un buen plan de demanda es el que involucra información de diferentes áreas para lograr un plan consensuado.

La planeación dentro de la cadena de abasto (*SCP* por sus siglas en inglés) comprende la interacción de diversas áreas de la organización. A lo largo de la cadena participan diferentes actores, cada uno desempeñando funciones complementarias que llevarán al negocio a cumplir el objetivo de satisfacer al cliente.

Dentro de la cadena de abasto se tienen los siguientes actores principales:

### **Ventas**

Responsable de que se den los objetivos de venta de la organización. Hacen estimaciones de volumen y efectivo que se generará para ciertos tipos de clientes, derivados del pronóstico de venta.

### **Mercadotecnia**

Responsable de realizar los planes promocionales y las campañas publicitarias que buscarán potenciar los productos. Utilizan información histórica para estimar el impacto que tendrán sus actividades en la demanda del consumidor.

### **Finanzas**

Responsable de administrar el flujo de efectivo para que la organización haga frente a sus responsabilidades financieras. También utilizarán las proyecciones de demanda para cuestiones de presupuesto y dependerán de la exactitud del pronóstico para administrar los gastos operativos y determinar si el capital invertido es suficiente.

### **Operaciones**

Responsable de la ejecución de los planes resultantes. Es el eslabón que tiene contacto directo con el cliente directo en el punto de venta.

Los requerimientos, planes y objetivos de cada uno, serán consolidados por un actor más, el cual buscará generar el plan final de la organización. Su función se describe a continuación.

### **Planeador de demanda**

Responsable de la generación del pronóstico de demanda, seguimiento a su cumplimiento y medición de las desviaciones presentadas contra la demanda real. Asegura la exactitud del pronóstico y consolida los requerimientos de los demás actores.

La siguiente figura muestra la relación de los actores para generar un solo plan de demanda, el cuál deberá buscar cumplir con las necesidades generales.

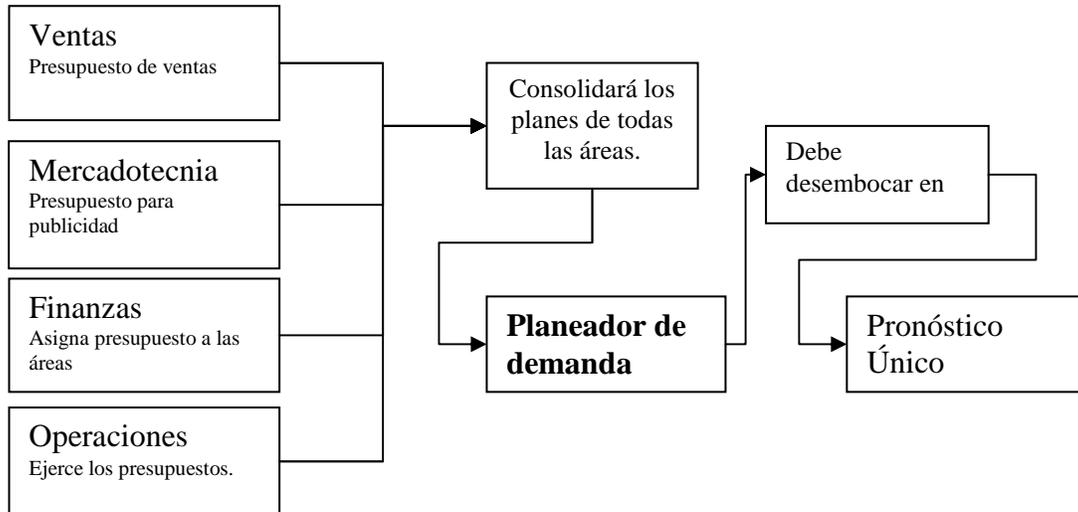


Figura 2. Actores en la planeación de la demanda. Elaboración propia.

## Actividades del Planeador de Demanda

Las actividades del planeador de demanda son tres:

1. Administración de excepciones.
2. Revisión de clasificaciones ABC.
3. Registro de métricas y mejoras al pronóstico.

### 2.1.2 ADMINISTRACIÓN DE EXCEPCIONES

En la industria detallista, el número de artículos (*SKU* por sus siglas en inglés) puede variar de algunos cuantos a cientos de ellos. Por ello, es necesario establecer un método sistemático para la identificación del catálogo prioritario.

Los Planeadores de Demanda utilizan la administración basada en excepciones para organizar un número grande de *SKU*'s. Las excepciones pueden consistir de artículos de alto volumen que tienen grandes desviaciones del pronóstico. Al identificar productos como prioritarios se puede administrar los que tienen mayor impacto en el negocio, antes de los de menor impacto.

Primero, se debe tener establecido cuánto es una desviación aceptable del pronóstico. Luego, debe medir la desviación de pronóstico que presentan los artículos que va a revisar. Todos aquellos artículos que presentan una desviación mayor a la que se considere aceptable, generarán una excepción a trabajar. Algunas formas de atender las excepciones son:

- Revisando el pronóstico de los SKU's, en conjunto con el equipo multi-funcional de planeación de demanda, y agregando el pronóstico de acuerdo al orden jerárquico.
- Proponer acciones comerciales para ajustar la venta con al pronóstico establecido.
- Hacer nada, ya que hay excepciones que el Planeador de la Demanda puede elegir ignorar.

### 2.1.3 Revisión de clasificación ABC

En el libro “Planeación y Control de la Producción” (Sipper, 1998, 13), de acuerdo a la Ley de Pareto o Método 80-20, el 80% de un resultado, depende el 20% de las actividades. En el caso de la industria detallista, se considera que el 80% de las ventas las genera el 20% del catálogo. Sin embargo, se puede considerar un tercer rango para dar mayor amplitud a las revisiones. Comúnmente se denominan productos A, los que se localizan que entre el 5% y el 20% del catálogo y generan entre el 55% y el 65% de las ventas, productos B a entre el 20% y el 30% del catálogo y que generan entre el 20 y el 40% de las ventas y productos C al catálogo restante, entre 50% al 75% y que sólo aportarán el 25% de la venta.

Más allá de la planeación de la demanda, el análisis ABC se utiliza en conjunto con las métricas de la exactitud del pronóstico y otros parámetros para establecer el inventario de seguridad que se requiere para cada SKU. Dado que el inventario de seguridad se utiliza para establecer un cierto nivel de servicio, es necesario asegurar que la clasificación ABC es correcta. Esto se debe hacer con revisiones periódicas de los grupos de artículo y de su desempeño en la venta. Es responsabilidad del planeador de demanda revisar la clasificación y ajustarla de ser necesario.

La siguiente figura muestra una distribución de productos en las clasificaciones ABC. El cuadro de la izquierda, muestra el porcentaje de artículos que están en cada clasificación. Se puede observar que el 20% de los artículos son A, el 30% son B y el 50% son C. En el cuadro de la derecha se observa que los artículos A generan el 70% de la venta, los artículos B el 20% y los artículos C sólo generan el 10%.

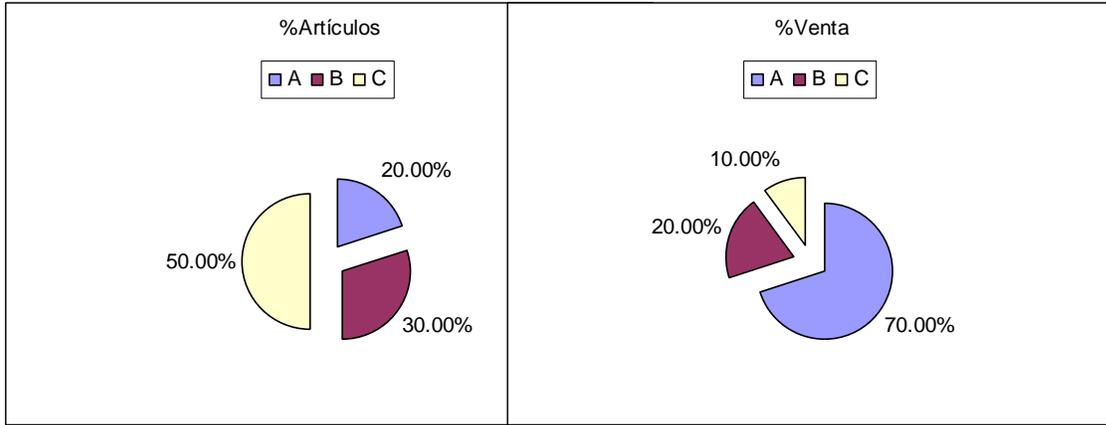


Figura 1 Clasificación ABC. Elaboración propia.

### 2.1.4 Registro de métricas y mejoras al pronóstico

La siguiente figura muestra una gráfica de ventas vs. el pronóstico generado. Estas desviaciones se deben medir y verificar el origen para poder llevar a cabo las correcciones.

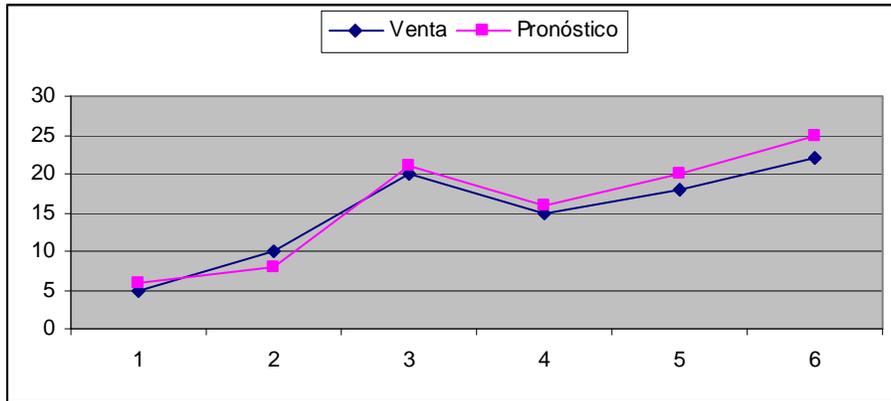


Figura 2 Revisión del pronóstico vs venta. Elaboración propia.

El monitoreo del desempeño es necesario para alcanzar altos niveles de exactitud del pronóstico. La organización debe medir, rastrear, y reportar las medidas de exactitud del pronóstico. Esto lo debe hacer por medio de formatos conocidos por todos los involucrados y utilizando métodos de medición comúnmente aceptados y replicables. También es necesario que se registren todos los cambios realizados considerando la participación de las diferentes áreas que se involucran. En el siguiente cuadro, se ejemplifican algunas situaciones comunes que se generan y algunas recomendaciones generales, de acuerdo a la Academia de la Cadena de Abasto (Supply Chain Academy,2).

Situaciones y complicaciones	Recomendaciones
Las medidas de desempeño del pronóstico no están bien definidas.	Administrar los pronósticos que están fuera de la tolerancia.
La motivación a mejorar el pronóstico es baja, ya que no hay medición.	Establecer las actividades correspondientes al área y monitorear el desempeño.
Los errores de pronóstico no se miden ni se rastrean.	Administrar los pronósticos que están fuera de la tolerancia.
Los ajustes al pronóstico no se monitorean independientes al pronóstico del sistema.	Monitorear los ajustes del pronóstico con los registrados en sistema.

Figura 3. Mejoras al pronóstico. Supply Chain Academy.

La planeación de la demanda ayuda a las organizaciones a mejorar las estimaciones sobre qué es lo que quieren los clientes, cómo lo quieren y cuándo lo quieren. Las diferentes unidades de la organización tendrán diferentes objetivos y desarrollarán diferentes planes de demanda. Un buen plan de demanda es aquél que se crea por consenso durante el proceso. Finalmente, el planeador de la demanda es aquél que revisa las excepciones, captura las métricas y ayuda a mejorar continuamente el pronóstico.

## 2.2 NIVEL DE SERVICIO E INVENTARIO DE SEGURIDAD

En el libro “*Managing Business Flow Process*” (Anupindi, 1999, 6), al asumir que la mayoría de las veces el pronóstico estará errado, también se debe tomar en cuenta que la planeación de abasto para hacer frente a la demanda pronosticada, deberá, invariablemente, tener como resultado ya sea exceso o desabasto de mercancía.

El que se agote un producto, tiene fuertes implicaciones en el negocio. El no contar con un producto en el momento en el que el cliente lo requiere llevará a no satisfacer sus necesidades, perder al cliente y la consecuencia pérdida de venta y ganancias; además de la pérdida de confianza del cliente, lo que llevará a la pérdida de las ventas futuras. Con tal de evitar este efecto por el agotamiento de producto, las empresas consideran tener más inventario, con tal de hacer frente a demandas que excedan los pronósticos. El inventario excedente al promedio o pronóstico de demanda se denomina **inventario de seguridad**.

Tomando esta idea del inventario de seguridad, se tendría la idea de que siempre es bueno tenerlo. Para saber qué tan conveniente es y cuánto tener, es necesario evaluar la relación costo-beneficio de mantenerlo. Esta evaluación se debe hacer con una base técnica sólida para fundamentar la decisión.

### 2.2.1 MEDICIONES DEL NIVEL DE SERVICIO

Para determinar el nivel óptimo de inventario de seguridad, el administrador del proceso debe considerar implicaciones económicas entre el costo del agotado y el costo de tener exceso de inventario. Aunque el costo de almacenaje del inventario es cuantificable, desafortunadamente las consecuencias intangibles de los agotados son difíciles de evaluar en términos monetarios. Por esta razón, es común que los detallistas provean un cierto nivel de servicio a clientes y así, determinan la cantidad de inventario de seguridad necesario para cumplir este objetivo. Las dos mediciones más comunes son:

1. Nivel de servicio de ciclo: se refiere a la probabilidad de que no haya agotados dentro de un ciclo de orden, o la proporción de ciclos de orden sin agotamiento, donde estos ciclos se encuentran entre dos órdenes de surtido consecutivos.
2. Fill Rate: es la fracción de la demanda satisfecha del inventario disponible.

Políticas eficientes de inventario se pueden implementar para alcanzar los niveles de servicio deseados en cualquiera de los dos métodos. En la mayoría de los negocios, sólo se cuenta con información sobre la venta pasada, mientras que la verdadera demanda no se puede ver debido a los agotados. Lo anterior dificulta la medición del fill rate, que requiere conocer la demanda. Adicionalmente, al analizar las políticas de inventario del nivel de servicio de ciclos, es más simple que para la medición del fill rate.

## Políticas de revisión y abasto

Según Fitzimmons en su libro “*Service Management*” (Fitzimmons, 2001, 11), para poder establecer una política de inventario, primero se debe decidir cómo es que el inventario debe ser revisado. Se tienen dos opciones, ya sea revisarlo periódicamente (semanal, mensualmente) o continuamente. La decisión dependerá del costo de estas revisiones, de la rotación de los productos, el tiempo de entrega y el tipo de producto.

Cualquiera que sea el método de revisión que se elija, las dos preguntas básicas que debe responder son:

1.     ¿**Cuánto** se debe ordenar?
2.     ¿**Cuándo** se debe ordenar?

La respuesta a la primera pregunta se tiene por la diferencia que se tenga entre el costo fijo de poner la orden y los costos variables de almacenar el inventario que se obtiene al ordenar grandes cantidades. Esta diferencia es lo que lleva a obtener cantidades económicas a ordenar *EOQ*'s. En estos modelos primero se ordena una cantidad inicial y a partir de ese momento se monitorea el inventario en forma continua para luego ordenar una vez que el inventario cae a un nivel predeterminado como punto de reorden. Esta política se conoce como **revisión continua con punto de reorden**. Sin embargo, es necesario considerar todas aquellas situaciones que pueden alterar el comportamiento normal, a esto se le conoce como *ruido* en el sistema. Por esta razón, se debe tener en cuenta la demanda por unidad de tiempo, la demanda promedio, la cual representará el promedio con el cual el inventario decrece en el tiempo. La demanda actual variará en forma incierta y aleatoria.

De la misma manera es necesario obtener el tiempo de entrega promedio por unidad de tiempo. Este retraso se puede dar por varios factores en la información, el proceso o el transporte. La variable es medida en las mismas unidades de tiempo que la demanda. Así se obtiene el número de unidades que se demandan por día, semana o mes, y el tiempo que transcurre entre la generación de la orden de compra y la llegada a tienda de la mercancía. Así, cuando el inventario llega al punto de reorden, se genera una orden de compra de tamaño  $Q$ , la cual se recibirá en un periodo  $L$ .

## Demanda durante el tiempo de entrega

De acuerdo con Raví en “*Managing Business Flow Process*” (Anupindi, 1999, 6), el inventario genera, con la política de punto de reorden, un flujo de requerimientos que se recibe unos días después. El riesgo de agotados se genera dentro de este periodo de espera. Este flujo total de requerimientos durante el tiempo de entrega, se conoce como **demanda durante el tiempo de entrega** ( $D_L$ ). En general, si el flujo  $R$  o el tiempo de entrega  $L$  son inciertos, entonces  $D_L$  también lo será. La incertidumbre en  $R$  se da cuando se tiene un pronóstico imperfecto, lo cual es inevitable. La incertidumbre en  $L$  se da cuando se involucran factores que retrasan el arribo de la mercancía. Cuando  $D_L$  excede el punto de reorden ( $ROP$ ), se producen los agotados.

Si se toma el promedio de  $D_L$  como  $\mu$ , la desviación estándar de  $D_L$  se tiene una medición estadística para la variabilidad de la demanda durante el tiempo de entrega. Se denota como  $\sigma$  e indica la extensión de la variación en  $D_L$  alrededor de  $\mu$ .

Asumiendo que  $ROP = \mu$  y que  $D_L$  está distribuida normalmente, con media  $\mu$  y desviación estándar  $\sigma$ , si tenemos sólo el inventario suficiente para satisfacer la demanda media pronosticada ( $\mu$ ), entonces  $D_L$  excederá este pronóstico en el 50% de los ciclos de orden. Por esta razón, se tendrán agotados y el nivel de servicio ( $SL$ ) será del 50%. Para poder reducir el riesgo de agotados, se puede optar por hacer pedidos con anterioridad, es decir  $ROP > \mu$ .

Así, se tendrá una cantidad excedente

$$I_s = ROP - \mu$$

ésta será el inventario de seguridad sobre los requerimientos promedio  $\mu$ . Por lo que se tiene el punto de reorden con la siguiente expresión:

$$ROP = \mu + I_s$$

En la gráfica se muestra la revisión continua con el sistema de punto de reorden cuando la demanda durante el tiempo de entrega presenta incertidumbre. En ella se muestra que el nivel de inventario fluctúa en el tiempo y no es completamente uniforme. La existencia varía cuando llega la mercancía ordenada. Cuando la demanda durante el tiempo de entrega es menor a  $\mu$ , la existencia justo antes del arribo del producto es mayor al inventario de seguridad  $I_s$ . Si la demanda es mayor que  $\mu$ , la existencia justo antes del arribo es mayor al inventario de seguridad. Dado que la demanda promedio durante el tiempo de entrega es  $\mu$ , la existencia promedio de inventario justo antes del arribo de requerimientos será igual al inventario de seguridad.

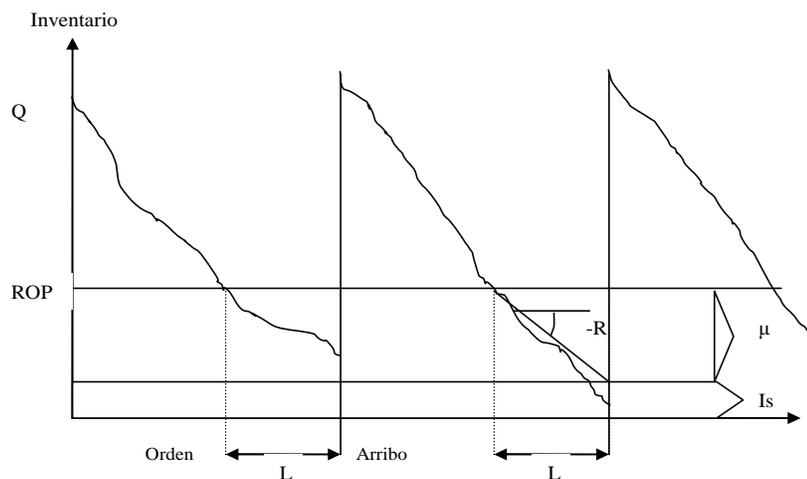


Figura 3 Comportamiento del inventario en el tiempo. Elaboración propia.

Considerando que, el inventario promedio con una orden de compra de tamaño  $Q$  es  $Q/2$  en un ciclo de orden, cuando  $D_L$  es incierto; también se tiene inventario  $I_s$ , por lo que el inventario total será:

$$I = Q/2 + I_s$$

Con un flujo promedio  $R$ , el tiempo promedio se expresa con la Ley de Little (Anupindi, 1999, 6) de la siguiente manera:

$$T = I/R = \frac{(Q/2 + I_s)}{R}$$

Obteniéndose la cantidad promedio de tiempo que un flujo típico de unidades espera en inventario antes de ser utilizada.

### 2.2.2 NIVEL DE SERVICIO DADO UN INVENTARIO DE SEGURIDAD

Raví (Anupindi, 1999, 6) define en su libro el nivel de servicio  $SL$  como la probabilidad (en una porción de tiempo) que la  $D_L$  no exceda el  $ROP$ , donde el inventario del  $ROP$  será suficiente para satisfacer  $D_L$ . Así se puede obtener la siguiente fórmula:

$$SL = Prob(D_L \leq ROP)$$

Para hacer los cálculos de esta probabilidad, será necesario conocer la distribución de probabilidad de la variable aleatoria  $D_L$ . Es común asumir que se encuentra normalmente distribuida con media  $\mu$  y desviación estándar  $\sigma$ ; sin embargo se puede llevar el análisis con cualquier otra distribución de probabilidad. En el caso de la distribución normal, se tendrá como función densidad de probabilidad una campana, simétrica alrededor de  $\mu$  y dispersa en proporción a  $\sigma$ . En el gráfico se puede observar la relación entre la distribución de la demanda durante el tiempo de entrega  $D_L$ , el punto de reorden  $ROP$  y el correspondiente nivel de servicio  $SL$ .

El cálculo del área se obtendrá de acuerdo a una distribución normal:

$$Z = (D_L - \mu) / \sigma$$

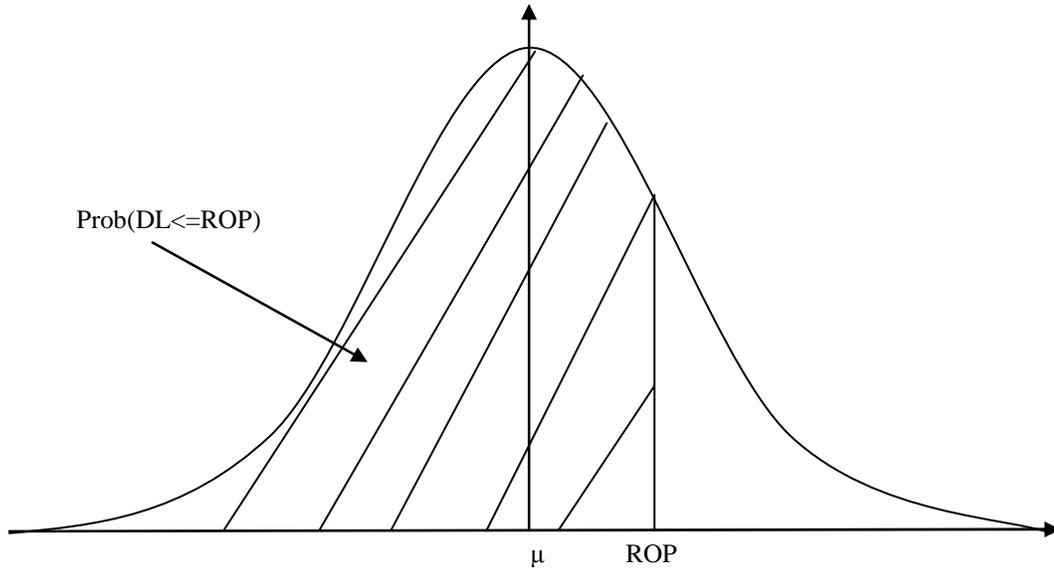


Figura 4 Comportamiento con Distribución Normal. Elaboración propia.

También tendrá una distribución normal con  $\mu = 0$  y  $\sigma = 1$ .

De esta manera, dado un cierto nivel de inventario de seguridad  $I_s$ , se puede medir como un múltiplo  $z$  de la desviación estándar  $\sigma$  de  $D_L$ . Por lo anterior, se puede establecer la siguiente relación:

$$I_s = z \times \sigma$$

Retomando la relación

$$ROP = I_s + \mu$$

se obtiene la siguiente relación:

$$z = \frac{(ROP - \mu)}{\sigma}$$

Considerando las ecuaciones resultantes, se puede decir que:

$$SL = Prob(D_L \leq ROP)$$

$$SL = Prob\left(\left(\frac{D_L - \mu}{\sigma}\right) \leq \left(\frac{(ROP - \mu)}{\sigma}\right)\right)$$

$$SL = Prob(Z \leq z)$$

Así, se puede obtener el nivel de servicio con el que se trabaja, de acuerdo a la probabilidad que se tiene con la distribución normal.

### 2.2.3 INVENTARIO DE SEGURIDAD DADO EL NIVEL DE SERVICIO

Puede requerirse determinar el inventario de seguridad y el punto de reorden que se requiere para proveer un cierto nivel de servicio. Para este caso, se conoce el área  $SL$  y se tiene que calcular  $ROP$ . Conociendo el  $SL$ , se debe determinar el valor de  $z$ :

$$SL = Prob(Z \leq z)$$

Calculando el inventario de seguridad:

$$I_s = z \times \sigma$$

y  $ROP$  será

$$ROP = I_s + \mu$$

Así, para poder determinar el  $ROP$  de un nivel de servicio deseado, se requiere información del promedio de  $D_L$  y su desviación estándar  $\sigma$ . Esto también dependerá del nivel de flujo  $R$  (su promedio y desviación estándar) y el tiempo de entrega  $L$  (su promedio y desviación estándar). Para considerar la interacción entre el nivel de servicio y el inventario de seguridad, se puede considerar que los valores del promedio y desviación estándar de  $D_L$  son conocidos.

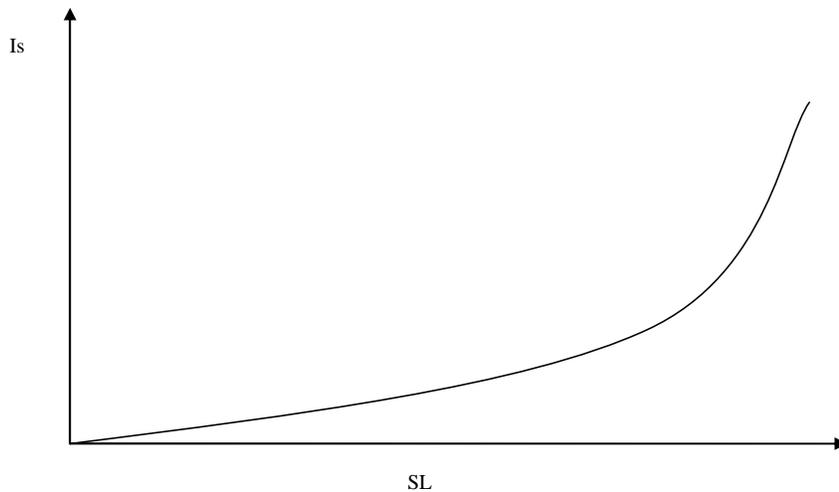


Figura 5 Comportamiento del nivel de servicio. Elaboración propia.

Como se puede ver en la figura 8, aumentar el nivel de servicio incrementa el requerimiento de inventario de seguridad en forma no lineal. Tener un mayor nivel de servicio incrementa el costo de almacenaje del inventario, esto aumenta la importancia de tomar una correcta decisión sobre el nivel de servicio y de inventario requerido. Las empresas pueden optar por tener un alto nivel de servicio en términos de la disponibilidad del producto, o bien tener bajos costos de abasto al tener menos inventario; buscando ubicarse en un nivel óptimo de acuerdo a la curva costo-servicio.

#### **2.2.4 FORMAS PARA REDUCIR EL INVENTARIO DE SEGURIDAD**

Se pueden identificar algunas herramientas que ayudarán a disminuir la variabilidad del flujo y del requerimiento en el nivel de inventario de seguridad:

1. Reducir la variabilidad de la demanda mejorando el pronóstico.
2. Reducir los tiempos de entrega.
3. Reducir la variabilidad en los tiempos de entrega.
4. Agrupar inventario de múltiples locaciones o productos, ya sea con centralización física o virtual, especialización o una combinación de éstos.
5. Explotar la sustitución de productos.
6. Usar componentes comunes.
7. Posponer el proceso hasta un punto cercano al momento de la demanda real.

## 2.3 VARIABILIDAD DEL TIEMPO DE ENTREGA (*LEAD TIME*)

La demanda durante el tiempo de entrega se denota como  $D_L$  y se refiere a las unidades que se demandan desde el momento en que se genera una orden de compra hasta que es recibida en tienda. Tenemos un inventario de seguridad  $I_S$  para satisfacer los requerimientos durante el tiempo que tarde en llegar y cumplir con el nivel de servicio  $SL$ . Ambos  $I_S$  y  $SL$  dependen de la variabilidad de  $D_L$ ; si  $D_L$  fuera constante, se podría garantizar un  $SL = 100\%$  con un  $I_S = 0$ . Sin embargo, debido a la variabilidad que presenta el proceso, es necesario hacer estimaciones y planeación de la demanda.

### 2.3.1 TIEMPO DE ENTREGA

Al considerar el caso en el que el tiempo de surtido  $L$  es conocido y medido en periodos fijos (día, semana, mes). Primero tenemos  $R_L$  que será la demanda en un cierto tiempo  $t$ . Para un número de periodos de tiempo de entrega  $L$ , la demanda total durante el tiempo de entrega será:

$$D_L + R_1 + R_2 + \dots + R_L$$

Consideramos que los niveles de demanda entre los periodos  $R_L$  son independientes y tienen la misma distribución, teniendo una distribución de variables aleatorias idéntica e independiente. Se obtiene el promedio de  $D_L$  como:

$$\mu = L \times R$$

donde  $L$  es el *lead time* en el número de periodos y  $R$  es la demanda promedio por periodo. Dado que  $L$  es constante, la variabilidad de  $D_L$  se tiene por la variabilidad de  $R_L$ . Teniendo  $\sigma_r$  como la desviación estándar de la demanda por periodo; para calcular esta desviación estándar, es conveniente primero calcular la varianza de  $D_L$  dada por  $\sigma^2$ :

$$\sigma^2 = \sigma_r^2 + \sigma_r^2 + \sigma_r^2 + \dots + \sigma_r^2 = L\sigma_r^2$$

Esto es válido debido a que la varianza de  $L$  variables aleatorias independientes es igual a la suma de sus varianzas. De esta manera se obtiene la desviación estándar de la demanda durante el tiempo de entrega:

$$\sigma = \sqrt{L} \times \sigma_r$$

Si conocemos el tiempo de entrega del abasto y la variabilidad de la demanda del periodo, podremos calcular el inventario de seguridad para alcanzar el nivel de servicio deseado.

Además de la dependencia con el nivel de servicio, el inventario de seguridad también depende de la desviación estándar de la demanda durante el tiempo de entrega, la cual depende tanto de lo largo que sea el tiempo de entrega como de la variación de la demanda. Una mayor variabilidad de la demanda durante el *lead time* resulta, ya sea de

tener *lead times* largos, mayores variaciones de demanda por periodo, o ambos. Esto hace que sea necesario tener una mayor cantidad de inventario de seguridad para dar el nivel de servicio deseado.

El efecto del *lead time* en el inventario de seguridad también tiene implicaciones en la compra. Si consideramos que se puede elegir entre dos proveedores, uno ofrece los productos a menor costo pero con mayor tiempo de entrega y otro con menor tiempo de entrega pero mayor costo. Para hacer frente a estos casos no se puede hacer sólo la selección por costo, ya que *lead times* altos puede resultar en la necesidad de tener mucho inventario de seguridad.

### 2.3.2 VARIACIONES DEL TIEMPO DE ENTREGA

Además de su duración, la variación del tiempo de entrega contribuye en forma importante en la variación de  $D_L$ . Al tener una demanda  $R$  conocida, y que el tiempo de entrega  $L$  es una variable aleatoria con media  $L$  y desviación estándar  $\sigma_l$ , la demanda esperada durante el *lead time* es:

$$D_L = R \times L$$

con media

$$\mu = R \times L$$

y varianza

$$\sigma^2 = R^2 \sigma_l^2$$

Si consideramos que la demanda  $R$  y el tiempo de entrega  $L$  son variables aleatorias.  $D_L$  es la suma de variables aleatorias. Para realizar el cálculo del inventario de seguridad requerido, se debe calcular la media y la varianza de  $D_L$ . Dado que  $L$  es el promedio del *lead time* y que  $R$  es el promedio de la demanda, la media de  $D_L$  es:

$$\mu = L \times R$$

para el caso de la varianza se puede hacer alguno de dos cálculos:

1. Cuando el flujo es aleatorio, pero el *lead time* es fijo.
2. Cuando el flujo es constante pero el *lead time* es aleatorio.

La variación total de  $D_L$  es la suma de estos efectos individuales:

$$\sigma^2 = L \sigma_r^2 + R^2 \sigma_l^2$$

Así, la variación en el *lead time* incrementa el inventario de seguridad. Por lo anterior, esta variación tiene importantes impacto en los requerimientos de  $I_S$ . Contar con proveedores confiables, que generan las entregas a tiempo, contribuye a disminuir los requerimientos.

La incertidumbre en la demanda y en el abasto afecta la disponibilidad del producto. Para poder tener un mejor servicio y hacer frente a esta incertidumbre, las empresas tienen inventarios de seguridad. Hay tres factores clave para determinar la cantidad de inventario de seguridad requerido, dependiendo de las circunstancias:

1. El nivel de servicio deseado para el cliente.
2. El promedio y la incertidumbre en la demanda.
3. El promedio y la incertidumbre en el tiempo de resurtido.

También hay dos vías que nos llevan a reducir el nivel del inventario de seguridad:

1. Reducir tanto el promedio como la desviación estándar del tiempo de resurtido.
2. Reducir la variabilidad de la demanda.

Aunque incrementar la confiabilidad del pronóstico puede reducir la variabilidad de la demanda, muchas empresas consideran que ésta es su única opción. Sin embargo, no es la única alternativa con la que se cuenta.

## 2.4 PRONÓSTICOS

En esta sección, se presentarán las bases teóricas de los modelos de pronóstico y de medición de error del pronóstico que se utilizaron para este trabajo. En el apéndice se presentarán otras técnicas de pronóstico y medición de errores que se pueden utilizar.

### 2.4.1 TIPOS DE PRONÓSTICO

De acuerdo con la Asociación de Líderes de la Industria Detallista (RILA,1), las organizaciones se deben plantear las siguientes preguntas con la finalidad de establecer los parámetros para la planeación.

- ¿Qué tan a menudo se debe actualizar el pronóstico?
- ¿En qué periodos de tiempo se debe calcular el pronóstico (mensual, semanal, etc.)?
- ¿Cuál estructura de planeación hace eficiente el proceso de Planeación de la Demanda?
- ¿A qué nivel de detalle se debe realizar el pronóstico?
- ¿Cómo se agrupa o desagrega el pronóstico a través de la estructura?

Las primeras dos preguntas tienen que ver con qué tan frecuentemente se deben hacer los ajustes al pronóstico. Una organización debe actualizar sus pronósticos de demanda de acuerdo al tipo de pronóstico que se genera. La industria detallista utiliza pronósticos a diferentes plazos, de acuerdo a la planeación que se requiera. La Academia de la Cadena de Abasto (Supply Chain Academy,2) propone la siguiente clasificación:

- **Pronóstico Estratégico**

Contempla varios años hacia delante. Se puede actualizar dos veces al año o trimestralmente.

- **Pronóstico Táctico**

Contempla un pronóstico para el futuro cercano. Este pronóstico se puede utilizar para estimar las ventas mensuales, junto con el proceso de planeación. En particular, este pronóstico es muy importante cuando tratamos con artículos que tienen tiempos de entrega *lead times* largos.

- **Pronóstico Operacional**

Contempla el futuro inmediato sobre la demanda del producto. Este pronóstico se debe revisar cada semana para reflejar las condiciones actuales del mercado.

Se pueden combinar para obtener un pronóstico a largo plazo, teniendo visibilidad de lo que se estima para periodos de tiempo más cortos. Las organizaciones que utilizan pronósticos estratégicos usarán periodos grandes.

## 2.4.2 MÉTRICAS DE EVALUACIÓN

De acuerdo con la Asociación de Líderes de la Industria Detallista (RILA,1), las organizaciones deben contar con métricas que permitan evaluar si los planes y procedimientos que han elaborado generan mejoras sobre el proceso. Esas métricas pueden ser para:

- Asegurar que los procedimientos están siendo llevados a cabo.
- Medir la efectividad de la cadena de abasto.

## 2.4.3 MEDICIÓN DEL ERROR DE PRONÓSTICO

### Error cuadrático medio

Para este trabajo, se utilizará la técnica del error cuadrático medio. Es la medición sobre la variabilidad de los errores del pronóstico. Esta medida cobra importancia en la determinación de los inventarios de seguridad que se deben usar. Dado que se obtiene el rango en el que se encuentra el error del pronóstico, se utiliza para poder tomar decisiones sobre qué hacer para cubrir dicho error.

$$MSE = \frac{\sum (\text{Pronóstico de demanda} - \text{Demanda Real})^2}{n}$$

n : es el número de periodos evaluados

Ecuación 1 MSE. Supply Chain Academy.

## 2.5 TÉCNICA Y MODELO DE PRONÓSTICO

### 2.5.1 SUAVIZAMIENTO EXPONENCIAL – MODELO CON TEMPORALIDAD

Este modelo se enfoca en los productos que presentan componentes de temporalidad en sus ventas o que son afectados por eventos en el tiempo que se repiten cíclicamente. Su análisis se complica, lo primero que hay que hacer es verificar que el modelo de temporalidad se aplica, de acuerdo con los datos históricos con los que se cuenta. Luego se deben obtener los estimadores de los parámetros nivel de venta  $a$  e índice de temporalidad  $F$ .

#### Modelo matemático

La representación del modelo de temporalidad está dado por:

$$x_t = a * F_t + n_t$$

donde:

$a$  es el nivel que no depende de  $t$ .

$F_t$  es el índice de temporalidad para el periodo  $t$ .

$n_t$  es el ruido aleatorio en el periodo  $t$ , se asume que es 0 en promedio.

Se tienen  $P$  periodos en una temporada, por lo que se tendrán  $P$  número de índices  $F$ , uno para cada periodo. Los índices  $F$  se adhieren  $P$  veces, y tenemos  $a$  que será el nivel medio de la demanda que se moverá hacia arriba y hacia abajo de acuerdo al índice  $F$ .

#### Inicialización y actualización de los parámetros

Es necesario estimar los parámetros  $a$  y  $F$  de los datos históricos, por lo que se deberá contar, por lo menos, con dos periodos para hacer las comparaciones. Mientras más cantidad de datos se tengan, se podrá disminuir el efecto del ruido que se haya generado en cada temporada.

Si se tiene un valor adecuado de  $a$  para un periodo particular, se puede hacer la siguiente estimación para el índice  $F$ :

$$\text{Índice Temporal (F)} = \frac{\text{Demanda en el periodo}}{\text{Estimado de } a \text{ para el periodo}}$$

#### Ecuación 2 Inicialización del Índice Temporal

De acuerdo con la Academia de la Cadena de Abasto (Supply Chain Academy,2), el procedimiento para llevar a cabo este modelo consta de una serie de pasos que deben ser

seguidos en secuencia. El procedimiento para la obtención de los parámetros iniciales se mostrará con un ejemplo hipotético:

El siguiente cuadro cuenta con tres años de lecturas divididos en los doce meses del año. Para el año 1, se presenta el consumo registrado en cada mes, lo mismo sucede para el año 2 y 3. Estas 36 observaciones se tabulan como se muestra.

Periodo	1	2	3
1	1,274	991	1,041
2	1,346	1,375	1,707
3	935	1,165	1,125
4	851	960	454
5	803	1,088	1,001
6	291	914	116
7	762	1,132	887
8	1,544	1,607	1,191
9	1,055	851	1,370
10	456	520	446
11	1,209	442	926
12	1,349	1,646	1,373

Cada una de las observaciones se graficó para identificar el comportamiento de cada punto en el tiempo. La siguiente gráfica muestra el resultado.

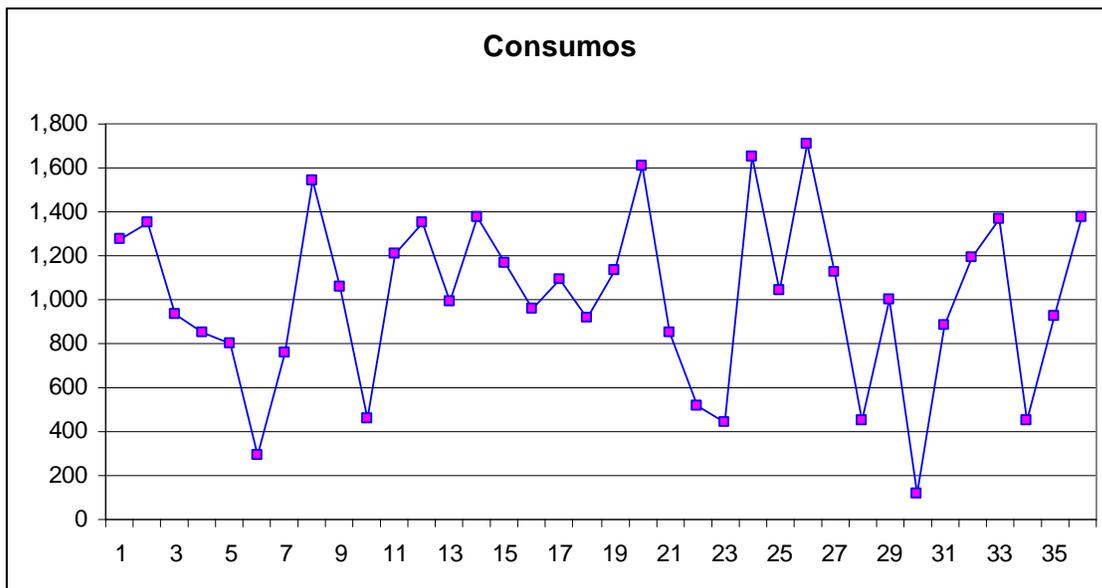


Figura 6 Consumo registrado. Elaboración propia.

**Primero**, se debe obtener un estimado del nivel **a** de cada periodo. Para esto se hace un promedio de la demanda presentada en cada uno de ellos.

Periodo	1	2	3
1	1,274	991	1,041
2	1,346	1,375	1,707
3	935	1,165	1,125
4	851	960	454
5	803	1,088	1,001
6	291	914	116
7	762	1,132	887
8	1,544	1,607	1,191
9	1,055	851	1,370
10	456	520	446
11	1,209	442	926
12	1,349	1,646	1,373
<b>a*</b>	<b>990</b>	<b>1,058</b>	<b>970</b>

Por ejemplo, para el periodo 1 se hace la suma de la demanda y se divide entre 12,  $11,875/12 = 990$ .

**Segundo**, para cada periodo de los datos históricos, se debe estimar el valor del índice temporal **F**, con el nivel **a\*** obtenido. Para esto se utiliza la relación:

$$\text{Índice Temporal (F)} = \frac{\text{Demanda en el periodo.}}{\text{Estimado de } a \text{ para el periodo}}$$

Ecuación 3 Estimación del Índice Temporal. Supply Chain Academy.

Muestra				Índice de Temporalidad (F)		
Periodo	1	2	3	1	2	3
1	1,274	991	1,041	1.287	0.937	1.073
2	1,346	1,375	1,707	1.360	1.300	1.760
3	935	1,165	1,125	0.945	1.102	1.160
4	851	960	454	0.860	0.908	0.468
5	803	1,088	1,001	0.811	1.029	1.032
6	291	914	116	0.294	0.864	0.120
7	762	1,132	887	0.770	1.070	0.915
8	1,544	1,607	1,191	1.560	1.520	1.228
9	1,055	851	1,370	1.066	0.805	1.413
10	456	520	446	0.461	0.492	0.460
11	1,209	442	926	1.222	0.418	0.955
12	1,349	1,646	1,373	1.363	1.556	1.416
<b>a</b>	<b>990</b>	<b>1,058</b>	<b>970</b>			

Esto se obtiene dividiendo cada demanda entre el nivel a obtenido para el año.

**Tercero**, cada uno de los índices temporales que se presentaron en cada dato de la temporada. Esto se hace obteniendo el promedio de los tres periodos estudiados.

Muestra				Índice de Temporalidad (F)			Índice de Temporalidad Promedio (Fprom)
Periodo	1	2	3	1	2	3	12.000
1	1,274	991	1,041	1.287	0.937	1.073	1.099
2	1,346	1,375	1,707	1.360	1.300	1.760	1.474
3	935	1,165	1,125	0.945	1.102	1.160	1.069
4	851	960	454	0.860	0.908	0.468	0.745
5	803	1,088	1,001	0.811	1.029	1.032	0.957
6	291	914	116	0.294	0.864	0.120	0.426
7	762	1,132	887	0.770	1.070	0.915	0.918
8	1,544	1,607	1,191	1.560	1.520	1.228	1.436
9	1,055	851	1,370	1.066	0.805	1.413	1.095
10	456	520	446	0.461	0.492	0.460	0.471
11	1,209	442	926	1.222	0.418	0.955	0.865
12	1,349	1,646	1,373	1.363	1.556	1.416	1.445
<b>a</b>	<b>990</b>	<b>1,058</b>	<b>970</b>				

Para verificar si el modelo es aplicable, la primera indicación es si los promedios de los índices de las temporadas difieren en forma importante de los presentados en cada periodo. Otra forma de detectarlo es hacer la siguiente prueba:

Para cada periodo en los datos históricos, calcular la **demanda destemporalizada**.

$$\text{Demanda destemporalizada} = \frac{\text{Demanda real en el periodo}}{\text{Índice temporal del periodo}}$$

Ecuación 4 Cálculo para la Demanda Destemporalizada. Supply Chain Academy.

De esta manera, se hará la división entre la demanda real de cada punto de los datos históricos y el índice temporal promedio obtenido. Si al graficarlo se observan los puntos ubicados arriba y debajo de una línea horizontal, entonces se puede decir que el modelo es aplicable a los datos.

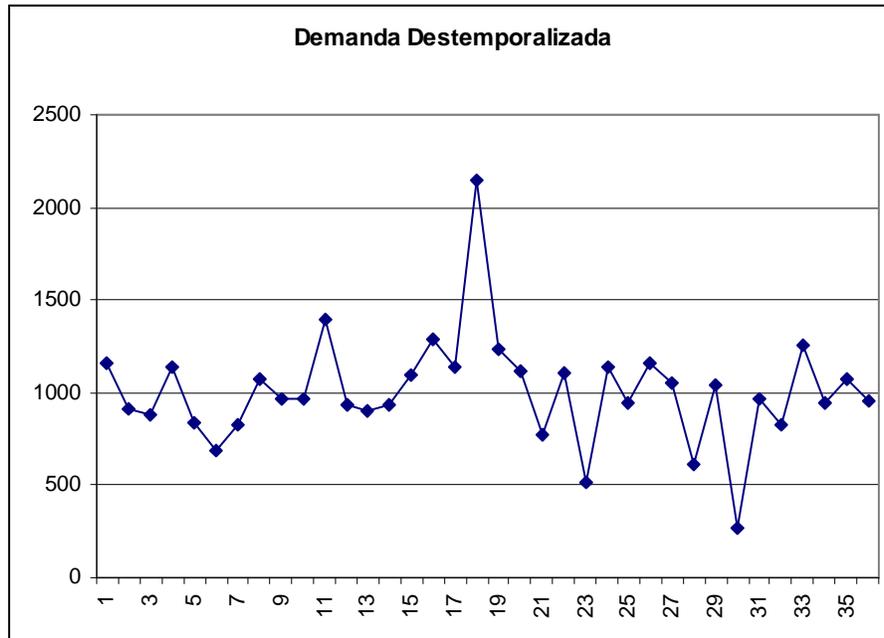


Figura 7 Demanda Destemporalizada observada. Elaboración propia.

Al actualizar los parámetros, tanto el nivel **a** como el índice temporal **F**, se están actualizando de acuerdo a la técnica de suavizamiento exponencial. Para lograr esto, se siguen cuatro pasos.

1. Se quita el efecto de la temporalidad a la demanda observada.

$$\text{Demanda destemporalizada} = \frac{\text{Demanda real en el periodo}}{\text{Índice temporal del periodo}}$$

2. El nuevo estimador suavizado del nivel **a** es.

$$a^*_{\text{nuevo}} = \alpha(\text{demanda destemporalizada en el periodo}) + (1-\alpha)a^*_{\text{viejo}}$$

3. El índice de temporalidad observado en el periodo es

$$\text{Índice temporal observado} = \frac{\text{Demanda real en el periodo}}{a^*_{\text{nuevo}}}$$

4. El índice de temporalidad en un periodo **j** se suaviza exponencialmente.

$$F^*_{j\text{nuevo}} = \gamma(\text{índice temporal observado en } j) + (1-\gamma) F^*_{j\text{viejo}}$$

donde  $\gamma$  es otra constante de suavizamiento, usualmente de valor pequeño.

Una vez obtenidos los nuevos índices temporales para el modelo, se deben normalizar para asegurar que la suma total de ellos vuelva a ser P. Cada vez que se haga una actualización en el periodo j se hace el siguiente procedimiento:

$$F_{j\text{normalizado}}^* = \frac{F_{j\text{nuevo}}^*}{F_{j\text{nuevo}}^* + (\text{suma de los } F_i^* \text{'s no normalizados)}} \times P$$

**Ecuación 5 Normalización del Índice de Temporal. Supply Chain Academy.**

### Selección de las constantes de suavizamiento

De manera análoga a las relaciones que guarda el tamaño de la constante en el suavizamiento exponencial, se pueden obtener las constantes para la temporalidad. Los valores más comunes son  $\alpha$  (0.1,0.7) y  $\gamma$  (0.05,0.3)

### Consideraciones en el modelo

Para este modelo es importante hacer algunas consideraciones:

1. No se deben pronosticar el uso de partes para un ensamblaje. Por ejemplo, si se sabe cuántos tornillos lleva un producto, no se deben pronosticar, sino calcular los tornillos.
2. Se debe dejar fuera eventos que hayan aumentado el ruido del modelo, como promociones, efectos de mercancía faltante, competencia.
3. Es necesario hacer actualizaciones periódicas y no proyectar muy lejos en el futuro, esto con la intención de tener el pronóstico más preciso.
4. Si las tendencias son negativas, los pronósticos pueden ser menores a cero. Estos casos deben ser estudiados utilizando menores periodos de tiempo.
5. Si se obtienen valores de  $\beta$  altos, significa que hay un cambio drástico en la demanda, por lo que se debe retomar el modelo y evaluar la pertinencia de usar los datos históricos.
6. Si se está usando un modelo de temporalidades, es necesario tener cuidado de ajustar temporadas que se puedan mover a lo largo del año, como Semana Santa.
7. No utilizar el suavizamiento exponencial con productos que presenten comportamientos erráticos, como largos periodos sin venta.

## 2.6 MODELO DE AGREGACIÓN DE INVENTARIO

### 2.6.1 PRINCIPIO DE AGREGACIÓN Y AGRUPACIÓN DE INVENTARIO

Este principio establece que *la desviación estándar de la suma de variables aleatorias es menor que la suma de las desviaciones estándar individuales*. Se puede asumir que el inventario total está físicamente localizado en un punto central que permite agregar la demanda de diferentes regiones. Sin embargo, la consolidación física no es esencial. Mientras que el inventario disponible se comparta entre varias fuentes de demanda (agrupamiento de inventario), se pueden lograr los beneficios de la agregación. Teniendo más opciones que sólo la consolidación física.

#### Centralización Virtual

Si consideramos un sistema de distribución que tiene dos bodegas A y B, cada locación tendrá su inventario de seguridad para poder dar el nivel de servicio buscado. Suponiendo que la demanda en la locación A excede la existencia, pero que el producto sí está disponible en la locación B; la demanda del consumidor en A puede ser satisfecha con el inventario en B. Para poder utilizar este criterio, el sistema debe cumplir con dos criterios:

1. La información sobre la demanda y la disponibilidad debe estar accesible para ambas locaciones.
2. La transferencia de producto de una locación a otra debe ser rápida y eficiente en costo.

Si se tienen satisfechos estos criterios, el agrupamiento es efectivo y el inventario en todas las locaciones se puede compartir para satisfacer la demanda. Dado que el inventario se encuentra en locaciones descentralizadas, en lugar de centralizadas en un solo punto, esto proceso se llama **centralización virtual**.

#### Especialización

Una empresa puede tener muchas bodegas, cada una con diferentes productos. El inventario de seguridad de cada producto, se localizará en una cierta instalación que se especializa en su manejo. Aunque haya diferentes bodegas, sólo una es la especializada en un cierto producto y tiene el inventario de seguridad almacenado. Por lo que agrupa y comparte el inventario para satisfacer la demanda de todos los puntos.

Este sistema es útil cuando la demanda local de cada bodega es más o menos única para cada producto. Bajo este esquema, el inventario de seguridad se reduce, debido a que se centraliza en un solo punto. Incluso disminuye el costo del transporte, debido a que la centralización se basa en una demanda que presenta patrones locales.

## Componentes comunes

Los modelos anteriores se enfocan en agrupaciones eficientes en términos de agregar la demanda a través de varios puntos geográficos. Sin embargo, el concepto de agregación también se puede aprovechar para la demanda de varios productos. Aunque algunos modelos de artículos similares se presenten en el mercado, se pueden considerar que tienen elementos comunes entre ellos.

Con el fin de ofrecer variedad y satisfacer la demanda de los clientes, las empresas pueden optar por algunas opciones. Un método es **hacer para tener**, en el cual la fabricación de los productos se da antes de que se genere la demanda. Otra opción es **hacer al pedir**, que se basa en que se comienza la fabricación una vez que se genera un pedido por un cliente. Si se tiene el inventario suficiente para la fabricación o se puede conseguir en poco tiempo, sirve para mantener menor inventario y reducir los costos.

## Substitución de producto

A menudo un producto puede ser substituido por uno similar y así hacer frente al exceso de demanda presentado. La habilidad para proveer productos substitutos aumenta la efectividad del nivel de servicio al agrupar el inventario de seguridad de diversos productos similares. Por lo tanto, se reduce el nivel de inventario de seguridad que se requiere para tener un cierto nivel de servicio. Para poder hacer esto la empresa debe tener información sobre los productos substitutos que puede usar.

### 2.6.2 ESTRUCTURA DE LA PLANEACIÓN

Se debe establecer a qué nivel se hacen los pronósticos y cómo es que se agregan o desagregan al resto de los *SKU* o niveles corporativos. Cuanto más se acerca el Planeador de la Demanda al momento en que se presentará la demanda del cliente, se ve obligado a proporcionar pronósticos más acertados a niveles más detallados. Muchas organizaciones utilizan diferentes herramientas tecnológicas para lograr tener una visión multi-dimensional sobre el pronóstico.

Los datos se organizan en forma flexible como en familias de artículos, ventas por región, etc. Esta estructura se puede utilizar para agregar o desagregar los pronósticos. Esto se logra clasificando *jerarquías* ya sea de producto o geográficas.

## Jerarquía de productos

La jerarquía de productos se refiere a cómo se agrupan y ubican de acuerdo a sus características. Por ejemplo, una compañía de ropa puede definir su jerarquía de producto así:

- Familiar de producto: Pantalones.

- Categoría del producto: Mezclilla, Casuales, Formales.
- Color: Azul, Rojo.
- SKU: Pantalones de mezclilla azules.

La jerarquía puede ir a tanta profundidad como se requiera y puede variar entre compañías y entre productos. La siguiente figura muestra cómo la base de esta jerarquía es el color del pantalón y luego se va haciendo más específico. De esta manera se puede ir desde la ropa azul, hasta los pantalones de mezclilla azules.

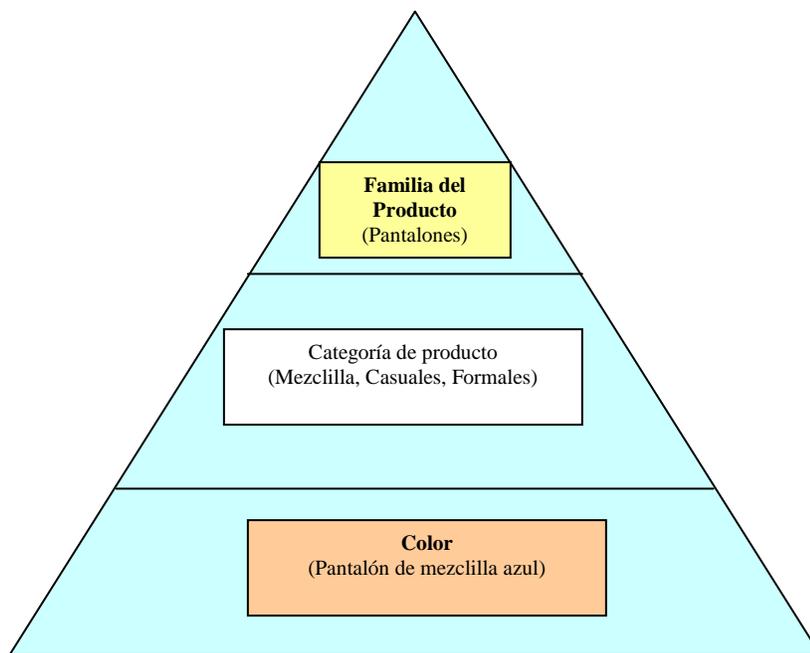


Figura 8 Jerarquía para la clasificación de artículos. Elaboración propia.

### 2.6.3 MÉTODOS DE AGREGACIÓN Y DESAGREGACIÓN DE PRONÓSTICO

De acuerdo Ravi Anupindi en “Managing Business Process Flow” (Anapundi, 1999, 6), los pronósticos deben ser susceptibles a agregarse o desagregarse a lo largo de la clasificación jerárquica. En la industria detallista se tienen muchos artículos que pueden ser de diferentes proveedores, pero que pertenecen a la misma categoría. Generar un pronóstico para cada uno de estos artículos y proveedores, dificulta la tarea. En cambio, se puede optar por generar un pronóstico a un nivel más alto, o agregado. Una vez que se han generado pronósticos agregados, los planeadores de demanda pueden utilizar las jerarquías, junto con estrategias de desagregación para establecer los pronósticos a mayor detalle. Esencialmente

se tienen tres métodos, la agregación o desagregación dependerán del nivel al que se generó el pronóstico.

1. El método de agregar “hacia arriba” consisten en juntar todos los pronósticos de menor nivel hace niveles mayores de la jerarquía.
2. El método del “centro hacia arriba”, agrega y desagrega pronósticos hacia niveles superiores e inferiores de la jerarquía. El proceso hacia arriba agrega los pronósticos de menor jerarquía. Desagregar los pronósticos hacia abajo se puede hacer de acuerdo a participación o de acuerdo a la información histórica que se tenga.
3. El método “hacia abajo” desagrega el pronóstico del nivel superior hacia los niveles inferiores. Análogamente con el método del “centro hacia arriba”, se desagregan los pronósticos de acuerdo a la participación del nivel inferior o por información histórica que se tenga.

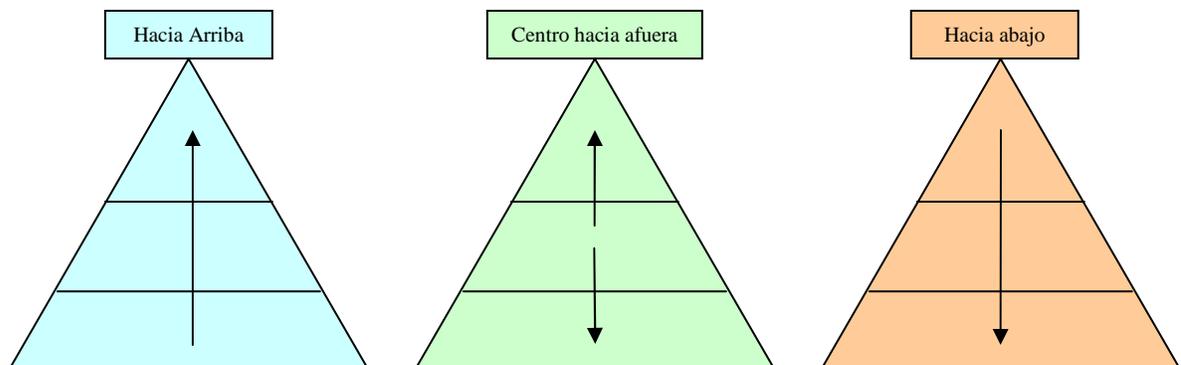


Figura 9 Métodos de agregación y desagregación por jerarquía de producto. Elaboración propia.

Finalmente, para que una organización trabaje hacia un buen plan de demanda, se deben tener en cuenta los siguientes conceptos:

- Horizontes de Planeación de la Demanda: la frecuencia con la que se actualiza el pronóstico.
- Extensión del Periodo a Pronosticar: si el pronóstico de demanda será para pronosticar la demanda del día, la semana, el mes, etcétera.
- Nivel del pronóstico: el nivel jerárquico del producto al que se genera el pronóstico.

## 2.6.4 AGRUPACIÓN DEL INVENTARIO A TRAVÉS DE LA AGREGACIÓN

Una de las características del pronóstico es que los pronósticos agregados son más certeros que los pronósticos individuales. El concepto básico de la agregación (agrupar la demanda de varios productos similares) tiene una vasta aplicación. Algunas empresas agrupan ventas de acuerdo a una cierta zona geográfica o por tipo de producto. La mejora del pronóstico dada la agregación es una propiedad estadística, y se pueden tener varias estrategias para explotarla y volver más eficiente el manejo del inventario.

### Centralización Física

Si una empresa almacena sus productos en diferentes bodegas para satisfacer a clientes en diferentes zonas geográficas, todas las locaciones enfrentarán incertidumbre en la demanda, y cada una deberá tener un cierto nivel de inventario de seguridad. Si consideramos que las operaciones de las bodegas de una empresa están descentralizadas (cada bodega opera en forma independiente de las otras), es posible que algunas bodegas se queden sin inventario, mientras que otras sí tengan. Aunque el total del inventario en la cadena es suficiente, el problema está en la distribución del mismo. Dada esta falla en la distribución, la necesidad de algunos clientes no será satisfecha.

Si la empresa puede centralizar y consolidar su inventario en una sola locación y servir de ahí a sus clientes, se podrá denominar a este sistema alterno **centralización física del inventario**. Dado que la centralización elimina la posibilidad de la mala distribución del inventario, la demanda de todos los clientes será satisfecha en tanto haya inventario en el sistema. Esta centralización permitirá ofrecer un mejor servicio que una red descentralizada y lo hará con la misma cantidad de inventario. En forma análoga, la centralización permitirá tener un mayor nivel de servicio con menos  $I_S$ .

Considerando que una empresa sirve a la locación 1 y a la locación 2 y suponiendo que la demanda en el tiempo de entrega de ambas locaciones están idénticamente distribuidas, cada una con media  $\mu$  y varianza  $\sigma^2$ . Para ofrecer un nivel de servicio  $SL$ , cada locación deberá tener un inventario de seguridad de:

$$I_S = z \times \sigma$$

Si cada instalación tiene una demanda idéntica y ofrece el mismo nivel de servicio, el inventario de seguridad total en un sistema descentralizado será  $I_S^D$  con valor  $2z\sigma$ .

### Demandas independientes

Considerando centralizar ambos inventarios en una sola locación, cuando la demanda durante el tiempo de entrega de cada una es independiente, la agrupación centralizada servirá a la demanda total durante el tiempo de entrega.

$$D_L = D_{L1} + D_{L2}$$

En la estadística, la media y la varianza de la suma de variables aleatorias independientes es, respectivamente, la suma de sus medias y sus varianzas. Por lo que se obtiene que para el  $D_L$  total:

$$\begin{aligned}\mu + \mu &= 2\mu \\ \sigma^2 + \sigma^2 &= 2\sigma^2\end{aligned}$$

Teniendo que la desviación estándar será de  $\sqrt{2} \sigma$ . Se puede observar que, en este caso de las dos locaciones, si bien la media se duplica, la desviación crece sólo 1.414 veces. Las altas demandas y las bajas se nivelarán y se obtendrá una demanda más estable. El inventario de seguridad que se tendrá en el sistema centralizado será

$$I_S^C = z \times \sqrt{2\sigma}$$

Al hacer la comparación entre estos sistemas, se puede observar que cuando ambos sistemas ofrecen el mismo nivel de servicio, el inventario total requerido por la operación descentralizada es  $\sqrt{2}$  veces el que se requiere por la centralizada. Esto quiere decir que el inventario de seguridad que se requiere en la operación centralizada es menor que en una doble locación descentralizada en un factor de  $1/\sqrt{2}$ . Se puede generalizar esto para  $N$  locaciones, al hacerlo se encontrará que consolidar el inventario de  $N$  locaciones con demandas independientes e idénticamente distribuidas en un solo punto nos dará una disminución en el total del inventario de seguridad en un factor de  $1/\sqrt{N}$ .

### Ley de la raíz cuadrada

Esta ley establece que el *total del inventario de seguridad requerido para dar un nivel de servicio determinado incrementa por la raíz cuadrada del número de locaciones en las que se tenga*. Adicionalmente a los beneficios que trae la distribución centralizada, también reduce el ciclo de inventarios. La reducción de este ciclo resulta del hecho de que la centralización permite mejorar las economías de escala en la procuración y producción. La siguiente gráfica muestra como cambia el requerimiento del inventario de seguridad, mientras aumenta el número de localizaciones. Dado que incrementa conforme al cuadrado de las localizaciones, se puede observar que mientras crece el número de localizaciones, el incremento de inventario de seguridad va disminuyendo. Esto se puede ejemplificar en el autoservicio, pensando en los Centros de Distribución, ya que si tenemos muchos Centros de Distribución, cada uno de ellos requerirá abastecer a un número menor de tiendas. Al tener que dar servicio a menos unidades, el requerimiento de inventario es menor.

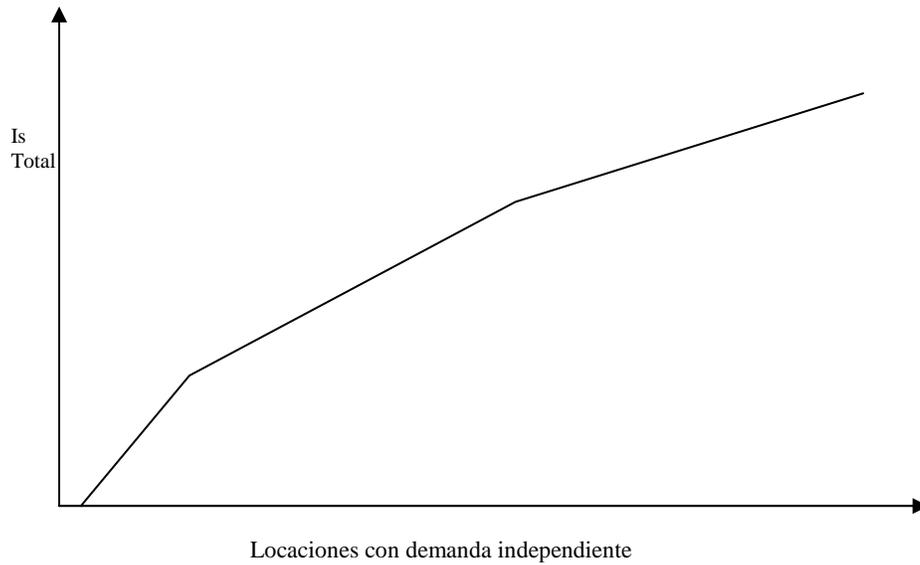


Figura 10 Requerimiento de inventario al aumentar las localizaciones

### Demandas correlacionadas

Considerando que las dos localizaciones y sus demandas durante el tiempo de entrega están idénticamente distribuidas, pero correlacionadas con un factor de correlación  $\rho$ . La media de  $D_L$  será:

$$\mu + \mu = 2\mu$$

y la varianza será

$$\sigma^2 + \sigma^2 + 2\rho\sigma^2 = 2(1+\rho)\sigma^2$$

Por lo tanto, el total del inventario de seguridad en el sistema centralizado será:

$$I_S^C = z \times \sqrt{2(1+\rho)}\sigma$$

Mientras que en el caso del sistema descentralizado será:

$$I_S^D = 2 \times z \times \sigma$$

En estos casos tenemos que el requerimiento del sistema descentralizado es mayor que el centralizado en un factor de:

$$\sqrt{\left(\frac{2}{1+\rho}\right)}$$

Cuando se tienen demandas independientes,  $\rho = 0$  y se obtiene la relación ya descrita. La ventaja del sistema centralizado aumenta cuando la demanda en las locaciones se vuelve negativamente correlacionada. Por otro lado, la ventaja de este sistema disminuye cuando las demandas están positivamente relacionadas. Sólo cuando se tiene un factor  $\rho = 1$  la centralización no ofrece mayores beneficios para reducir el inventario de seguridad.

### **Desventajas de la centralización**

Para el estudio inicial de la centralización se asumió que tanto el sistema centralizado como el descentralizado tienen tiempos de respuesta y costos de embarque idénticos. En la práctica, la localización de la centralización está lejos de muchos de los clientes, también puede aumentar el tiempo de entrega al atender a clientes lejanos. El costo de transporte puede aumentar para satisfacer la demanda. En estos casos el sistema descentralizado puede ser más útil e incrementar el nivel de servicio, mejorando los tiempos de respuesta. Con la descentralización se está más cerca de los clientes y nos puede llevar a tener un mejor entendimiento de sus necesidades.

### **Recorte del horizonte de pronóstico**

Los pronósticos que usan horizontes más lejanos son menos precisos que los que se hacen para el corto plazo. Esto debido a que mientras más tiempo pase y estemos más cerca del evento, se cuenta con más información para pronosticar la demanda y tomar la decisión. Es por esto que las decisiones sobre la planeación del inventario serán más efectivas si se posponen hasta un punto cercano a la demanda real.

### **Posponer o retraso diferenciado**

Tomar la decisión cuando se está más cerca del momento en que se presentará la demanda se conoce como **posponer o retrasar diferenciadamente**. Este proceso se puede dar de acuerdo a la naturaleza de los productos. Al tener más información sobre el comportamiento del mercado, se puede tomar una decisión más certera y reducir la necesidad de inventario de seguridad.



## CAPÍTULO 3 - METODOLOGÍA

### Agregación de inventario

- El pronóstico agregado es más preciso que el individual



Figura 1. Modelo de caja negra. Metodología. Elaboración propia.

Una vez descritas las técnicas anteriores, éstas se utilizaron como base para realizar los análisis correspondientes. Los datos históricos se sirvieron como entradas, de la misma manera sirvieron los pronósticos iniciales. Dichas entradas se utilizaron con la agregación de inventario, de tal suerte que no se utilizaron los datos a nivel total de los colchones individuales.

Como proceso de transformación se generó una metodología que permitió identificar qué colchones serían analizados, así como las tiendas a utilizar para realizar el estudio. Con los datos se realizaron los análisis respectivos para determinar el nivel de servicio con el que se ha trabajado, así como el inventario de seguridad necesario para mantener el nivel de servicio. Para la realización de las simulaciones y el pronóstico, se tomó como base el método de suavizamiento exponencial con temporalidad.

Las salidas del proceso generaron los pronósticos de demanda en el año, el nivel de inventario requerido para aumentar el nivel de servicio, con lo que se establece el inventario de seguridad. Estos resultados se contrastaron para poder establecer la conveniencia de la aplicación del modelo.

Finalmente, la metodología estableció la generación de formatos de control. Otros formatos se generaron para medir las desviaciones existentes entre los métodos. Con lo anterior, se buscó obtener estadísticas y una base de datos que sirvieran para estudios posteriores. Los pasos de cada punto se describen a continuación.

### 3.1 Estrategia metodológica

Para llevar a cabo el estudio se llevó a cabo la siguiente metodología:

1. Elegir un tipo de colchón a estudiar.
2. Seleccionar un grupo de puntos de venta a aplicar el modelo.
3. Identificar las necesidades de producto con históricos de venta.
4. Establecer el nivel de servicio e inventario de seguridad.
5. Generar un pronóstico de demanda para el año control, de acuerdo al modelo de suavizamiento exponencial con temporalidad.
6. Simular el año de control con la aplicación del modelo de agregación de inventario.
7. Medir desviaciones obtenidas en el modelo.
8. Obtener el valor de las variables de suavizamiento que minimizan el error de pronóstico.
9. Generar el pronóstico de demanda para el año de producción.
10. Contrastar la disponibilidad resultante en tienda.

Las herramientas utilizadas para el estudio fueron:

1. Las bases de datos de la organización para obtener los registros de venta y embarques de los artículos y las tiendas a evaluar.
2. La hoja de cálculo Excel para hacer los análisis y cálculos necesarios.
3. Las gráficas se realizaron con el programa Gráfico en Excel.
4. El programa Solver para hallar los valores de las variables de suavizamiento que minimizaras el error de pronóstico.

Para este estudio se analizó un grupo de 34 tiendas que participaban con el 80% de la rotación. Dentro de la categoría se estudiaron 4 artículos que participaron en la venta. Al obtener los datos de manera diaria para estas 136 combinaciones artículo tienda, se obtuvo un total de 16,660 puntos de tiempo a analizar.

### 3.2 Selección del grupo de estudio

#### Elección del colchón a estudiar

La investigación comenzó por la selección de los artículos a estudiar. Estos artículos cumplieron con las siguientes características:

1. Ser productos de alto valor.
2. Ser productos voluminosos.
3. Presentaron alta rotación en su categoría.
4. Presentaron el mayor problema de nivel de servicio.

Con la selección de artículos hecha, el siguiente paso fue seleccionar los puntos de venta a estudiar.

### **Selección del grupo de puntos de venta**

La selección de los puntos de venta a evaluar se realizó con los siguientes criterios:

1. Que las unidades generaran el 80% de las ventas de los productos seleccionados.
2. Que todas las unidades perteneciera al mismo giro.
3. Que la ubicación se distribuyera en diferentes partes del país.

### **Identificación de las necesidades de producto**

Para identificar las necesidades producto de las unidades, se tomó como base los datos históricos del comportamiento de la demanda y las veces en las que no se tuvo producto disponible. Estos datos se obtuvieron considerando los siguientes criterios:

1. Una consulta histórica sobre los artículos en las tiendas.
2. El comportamiento de la demanda en cada unidad de negocio.
3. La periodicidad en el envío de mercancía a las unidades.
4. El periodo a evaluar fue de 8 meses.
5. Los datos se desglosaron por día.

## **3.3 Establecimiento del nivel de servicio y del inventario de seguridad**

### **Establecimiento del nivel de servicio e inventario de seguridad**

De los puntos anteriores se obtuvieron los siguientes datos:

1. Información del artículo.
2. Inventario en cada tienda.

3. Ventas diarias del artículo por tienda.
4. Envío diario del artículo a cada tienda.

Con estos datos, se calcularon los siguientes rubros:

1. Inventario inicial
2. Venta en el periodo de exposición.
3. Inventario final.
4. Tiempo de arribo.

Considerando estos aspectos, se calculó:

1. Tiempo de entrega a tienda ( $L$ ).
2. Demanda del artículo en el periodo de exposición ( $D_L$ ).
3. Histogramas correspondientes.
4. Momento de mercancía agotada en tienda.
5. Total de días evaluados.

### 3.4 Pronóstico y agregación de inventario

#### **Generar el pronóstico de demanda para el año control, de acuerdo al modelo de suavizamiento exponencial**

Para esta parte de la investigación, se consideró la teoría para la obtención del pronóstico con el modelo de suavizamiento exponencial con temporalidad descrito por la Academia de la Cadena de Abasto. El pronóstico se obtuvo para todos los artículos de la categoría, con lo que se obtuvo un pronóstico agregado para los productos. Una vez establecido el pronóstico agregado, el cual cumple con los principios en listados, se utilizó para estimar el comportamiento de los artículos en particular. La metodología fue la siguiente:

1. Obtener el histórico de 4 años para la venta de todos los artículos de la categoría.
2. Agregar la venta de los artículos de la categoría para obtener la venta por mes/año.
3. Obtener de los índices de temporalidad de cada periodo.
4. Obtener el nivel de ventas de cada año.
5. Calcular el nivel de venta e índices temporales iniciales.
6. Obtener un pronóstico inicial para el año a evaluar.

### **Simular el año control con la aplicación del modelo de agregación de inventario**

Con la información de las ventas de cada año, se inició la simulación del pronóstico. La metodología aplicada fue la siguiente:

1. Simular las ventas del año 5 con los históricos obtenidos desde el año 1 al año 4.
2. Obtener los valores iniciales del nivel y de índices temporales.
3. Obtener el valor inicial de la demanda destemporalizada y pronóstico inicial.
4. Inicializar las variables de suavizamiento.
5. Registrar de la demanda observada contra la demanda pronosticada.
6. Actualizar los valores del nivel y de los índices de temporalidad.
7. Generar nuevo pronóstico para el siguiente periodo.

### **Medir desviaciones del modelo**

Para realizar la medición de las desviaciones, se siguieron los siguientes pasos.

1. Aplicar del método del error cuadrático medio (*MSE*).
2. Registrar de cada lectura sobre la desviación entre el pronóstico generado y la demanda real.
3. Obtener del *MSE* respectivo para cada periodo.
4. Obtener el *MSE* a total año.

### **Obtener el valor de las variables de suavizamiento que minimizan el error de pronóstico**

El cálculo del valor de las variables de suavizamiento para minimizar el error se llevó a cabo con la aplicación SOLVER de Excel. La metodología fue la siguiente:

1. Obtener los valores de *MSE* para cada periodo.
2. Obtener la suma total de los *MSE*'s.
3. Calcular los valores de las variables de suavizamiento que minimizaran la suma de los *MSE*'s.

Para hacer este proceso, se utilizó la función SOLVER de EXCEL.



La función objetivo a minimizar fue la suma de MSE. Las restricciones fueron sobre de las variables de suavizamiento, ajustándolas a los valores entre 0 y 1 que se requieren. De esta manera se obtuvo el valor de  $\alpha$  y  $\gamma$  que mejor ajusta el modelo para el pronóstico del año 5.

### **Generar el pronóstico para el año en producción**

Para la generación del pronóstico para el año en producción, se siguió la siguiente metodología:

1. Utilizar los registros de los 5 años anteriores.
2. Obtener de los valores de nivel e índices temporales de cada año.
3. Obtener el valor del nivel y del índice temporal para el año en producción.
4. Obtención del pronóstico inicial para el año en producción con los valores con las variables de suavizamiento.
5. Captura del valor de la demanda real al concluir cada periodo.
6. Cálculo del MSE generado por la desviación entre el pronóstico y la demanda real.
7. Actualización de la demanda destemporalizada y del índice temporal de los periodos siguientes.
8. Actualización del pronóstico.



## CAPÍTULO 4 - RESULTADOS

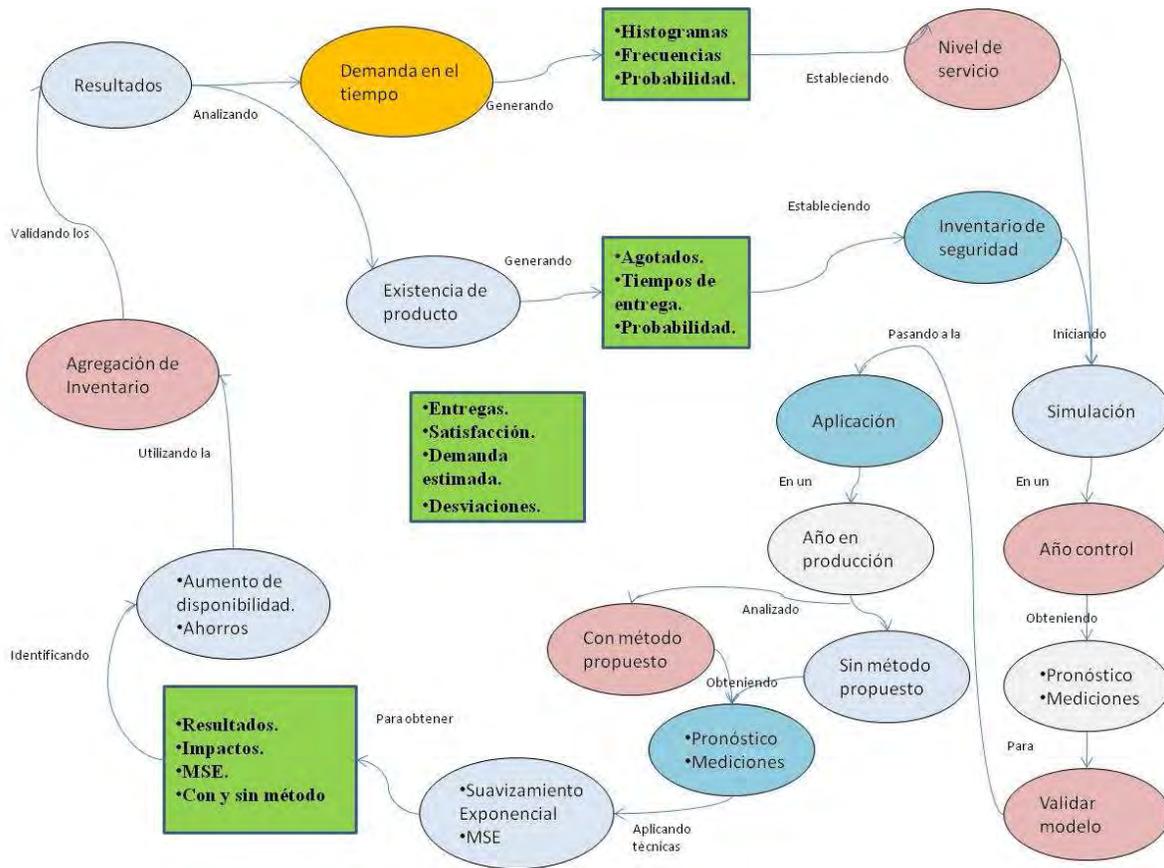


Figura 1. Mapa conceptual. Resultados. Elaboración propia.

### 4.1 DEMANDA EN EL PERIODO DE EXPOSICIÓN Y TIEMPO DE ENTREGA

Para establecer el nivel de servicio con el que se trabaja, se asume que tiene una distribución normal, con media  $\mu$  y varianza  $\sigma^2$ .

#### Valor de $\mu$ y $\sigma$

De la base de datos obtenida para el año 6, se hizo la revisión de la demanda observada durante el periodo evaluado para establecer su valor medio y su desviación estándar. De manera análoga, se hizo la revisión para determinar el valor medio y la desviación estándar del tiempo de entrega. La demanda se estima con la venta generada durante el periodo y el tiempo de entrega es el tiempo total que transcurre desde el envío a tienda, hasta la recepción de la mercancía en la unidad de negocio más los días promedio que transcurren por el proceso interno de proveedores antes de entregar la mercancía al centro de distribución. Con el uso de una tabla dinámica, se obtuvieron los siguientes resultados para el tiempo de entrega y la demanda durante el periodo de exposición:

Valor de $\mu$ y $\sigma$		
Periodo actual		
Año	6	
Tipo	XX	
Pedido	Activo	
Variable DL	$\mu$ DL	242.33
	$\sigma$ DL	394.59
Variable LT	$\mu$ LT	7.60
	$\sigma$ LT	1.58

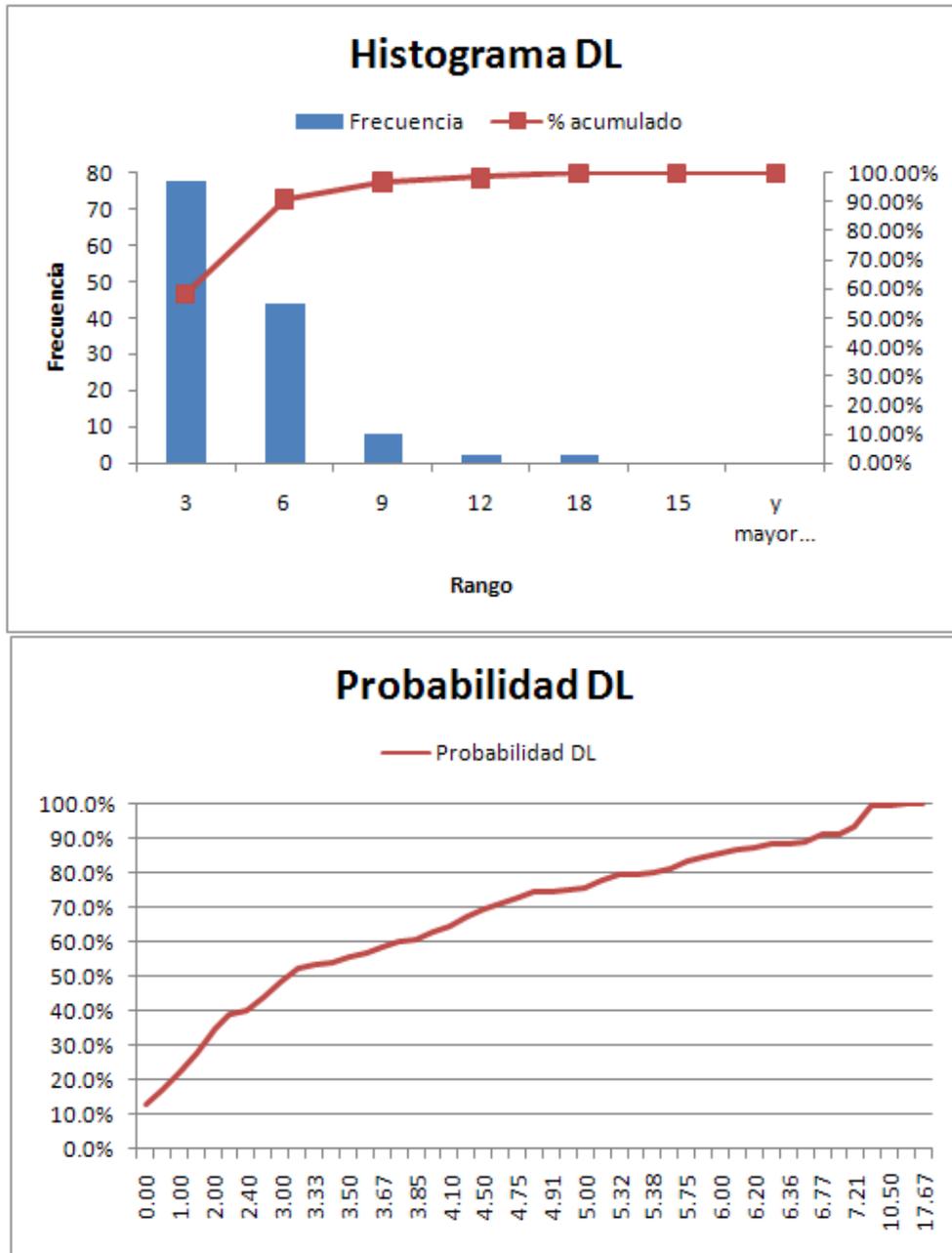
### Histogramas de comportamiento

Para facilitar el estudio de los tiempos y la demanda, se generaron histogramas y cuadros de frecuencia de los datos. Con esto, se pudo determinar cuál es la mayor probabilidad de demanda durante el tiempo de entrega y cuál es la mayor probabilidad de días a esperar para el arribo de la mercancía.

Para esta parte del estudio, se generaron los cuadros de frecuencia para los valores de tiempo obtenidos en la base de datos. Al asumir una distribución normal para las variables, se estableció el valor de la variable Z y el valor de probabilidad correspondiente. Este procedimiento se generó tanto para la demanda en el tiempo como para el tiempo de entrega.

Para el caso de la demanda en el tiempo, se obtuvo el siguiente resultado.

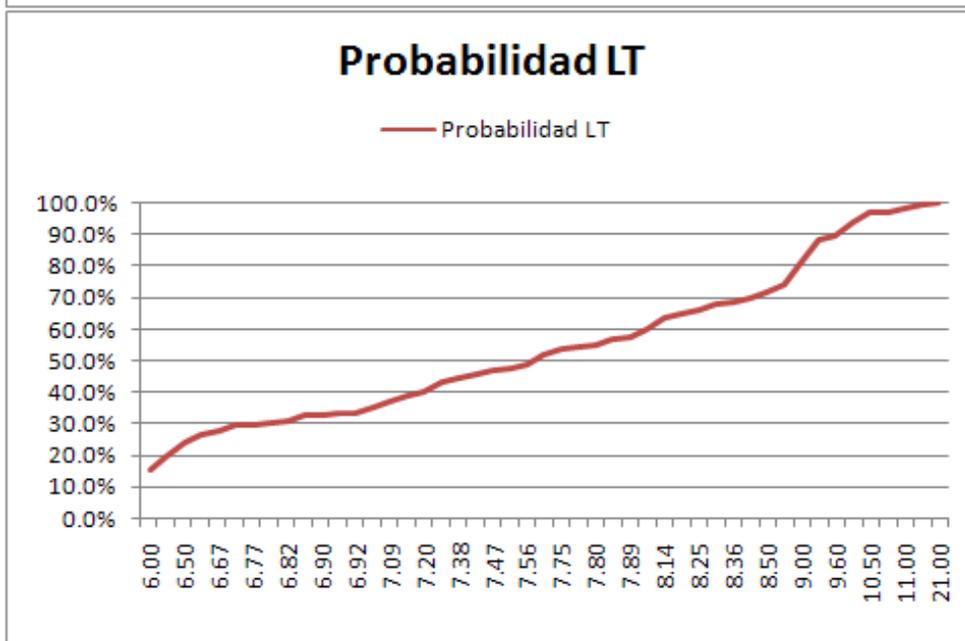
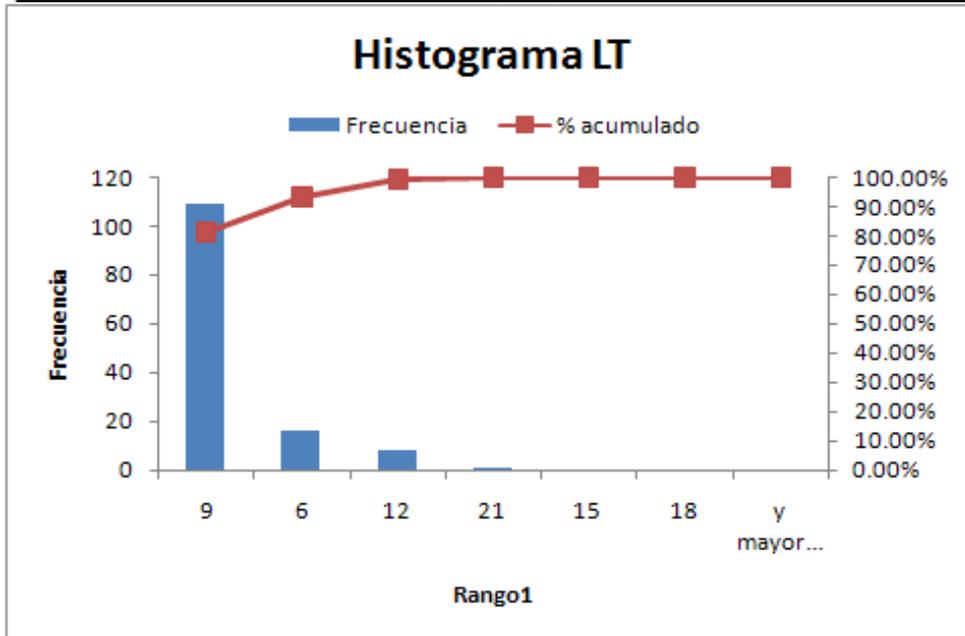
Rango	Frecuencia	% acumulado	Rango	Frecuencia	% acumulado
3	78	58.21%	3	78	58.21%
6	44	91.04%	6	44	91.04%
9	8	97.01%	9	8	97.01%
12	2	98.51%	12	2	98.51%
15	0	98.51%	18	2	100.00%
18	2	100.00%	15	0	100.00%
y mayor...	0	100.00%	y mayor...	0	100.00%



De acuerdo con este resultado, la mayor probabilidad de demanda de los clientes es de tres piezas, antes de que llegue más mercancía. También se puede ampliar al observar que contar con seis piezas en existencia cubre más del 90% de la probabilidad de ocurrencia de demanda.

En el caso del tiempo de entrega, se obtuvo el siguiente resultado.

Rango1	Frecuencia	% acumulado	Rango1	Frecuencia	% acumulado
6	16	11.94%	9	109	81.34%
9	109	93.28%	6	16	93.28%
12	8	99.25%	12	8	99.25%
15	0	99.25%	21	1	100.00%
18	0	99.25%	15	0	100.00%
21	1	100.00%	18	0	100.00%
y mayor...	0	100.00%	y mayor...	0	100.00%



Con estos resultados, se puede observar que la mayor probabilidad de espera a que llegue mercancía es de nueve días. Más del 80% de las ocasiones se debe esperar este

tiempo para el arribo de la mercancía, por lo que la existencia debe ser suficiente para cubrir la demanda.

Con los valores anteriores, se establece que durante nueve días es muy probable que la demanda de los clientes sea de seis piezas. Por lo que los requerimientos de mercancía deben ser suficientes para cubrir este periodo.

Las gráficas de probabilidad se obtuvieron con las siguientes tablas que se originadas de la base de datos.

**Optimización de la disponibilidad de producto mediante el modelo de agregación de inventario en una empresa detallista**

---

GRAFICO Probabilidad DL		GRAFICO Probabilidad LT	
DL	Probabilidad DL	LT	Probabilidad LT
0.00	12.7%	6.00	15.7%
0.50	16.9%	6.25	19.8%
1.00	22.0%	6.50	24.4%
1.50	27.8%	6.60	26.5%
2.00	34.3%	6.67	27.9%
2.33	38.9%	6.75	29.7%
2.40	39.8%	6.77	30.1%
2.67	43.6%	6.79	30.4%
3.00	48.5%	6.82	31.2%
3.25	52.1%	6.90	33.0%
3.33	53.4%	6.90	33.1%
3.38	54.0%	6.92	33.4%
3.50	55.8%	6.92	33.5%
3.57	56.8%	7.00	35.3%
3.67	58.2%	7.09	37.5%
3.80	60.1%	7.15	39.0%
3.85	60.8%	7.20	40.1%
4.00	62.9%	7.33	43.4%
4.10	64.3%	7.38	44.4%
4.33	67.4%	7.43	45.8%
4.50	69.6%	7.47	46.9%
4.60	70.9%	7.50	47.6%
4.75	72.7%	7.56	49.0%
4.88	74.2%	7.67	51.8%
4.91	74.6%	7.75	53.9%
4.93	74.9%	7.79	54.8%
5.00	75.7%	7.80	55.1%
5.17	77.6%	7.88	57.0%
5.32	79.2%	7.89	57.5%
5.33	79.4%	8.00	60.1%
5.38	79.9%	8.14	63.5%
5.50	81.1%	8.20	64.8%
5.75	83.5%	8.25	66.0%
5.86	84.4%	8.33	67.9%
6.00	85.6%	8.36	68.6%
6.11	86.5%	8.42	69.8%
6.20	87.2%	8.50	71.6%
6.33	88.2%	8.63	74.2%
6.36	88.4%	9.00	81.2%
6.43	88.9%	9.50	88.5%
6.77	91.1%	9.60	89.7%
6.82	91.4%	10.00	93.5%
7.21	93.4%	10.50	96.7%
10.13	99.5%	10.60	97.1%
10.50	99.7%	11.00	98.4%
16.00	100.0%	11.33	99.1%
17.67	100.0%	21.00	100.0%

## 4.2 PROBABILIDAD DE EXISTENCIA DE PRODUCTO

El siguiente dato necesario para el estudio es establecer el valor de la probabilidad de existencia. Esto se llevó a cabo con el análisis de la base de datos completa de los artículos y las tiendas evaluadas. Cada vez que la tienda quedaba sin mercancía, se consideró como agotado y se contrastó contra el total de los días evaluados para cada artículo en cada tienda. Usando una tabla dinámica, se obtuvo el siguiente resultado.

Unidad	Valores	1	2	3	4	Suma Total	Probabilidad Existencia
Total_Día transcurrido		6,615	5,481	1,715	1,715	15,526	91.0%
Total_Agotado		333	92	454	525	1,404	

Observándose que se cubre el requerimiento de los clientes el 91% de las veces.

## 4.3 NIVEL DE SERVICIO

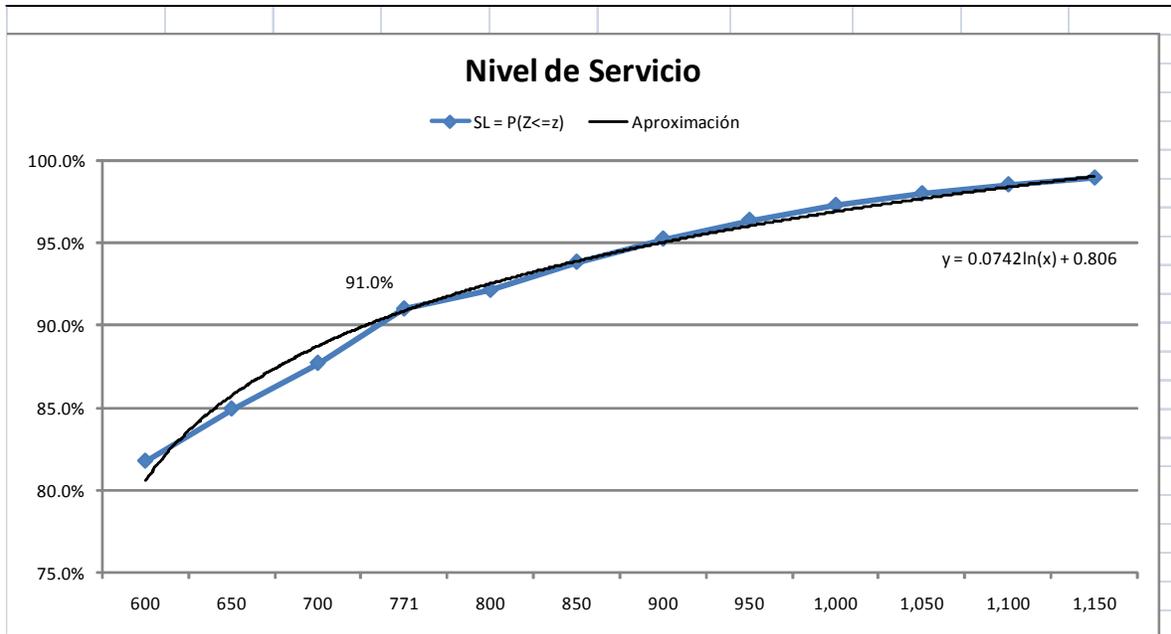
Con los resultados anteriores, se estableció el valor actual de las variables de media y desviación estándar, así como la probabilidad de existencia del producto. Se asumió que las variables aleatorias presentan una distribución normal, se utilizó el modelo propuesto para establecer el nivel de servicio.

$$SL = Prob(D_L \leq ROP)$$

En el siguiente cuadro se muestra el valor actual y se hizo la simulación de la variación del nivel de servicio al cambiar el inventario de seguridad. Se puede observar que al aumentar el nivel de inventario para cubrir la demanda o el error de pronóstico, el nivel de servicio aumenta. Sin embargo, hacer un incremento del inventario de seguridad en las unidades lleva consigo un incremento en los costos asociados.

Nivel de servicio	$\mu_{DL}$	$\sigma_{DL}$	$\mu_{LT}$	$\sigma_{LT}$	P(Existencia)	z						
Valor	242.33	394.59	7.60	1.58	91.0%	1.34						
				Valor Actual								
Nivel de servicio	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\mu_{DL}$	242	242	242	242	242	242	242	242	242	242	242	242
$\sigma_{DL}$	395	395	395	395	395	395	395	395	395	395	395	395
$\mu_{LT}$	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48
$\sigma_{LT}$	1.58	1.58	1.58	1.58	1.58	1.58	1.58	1.58	1.58	1.58	1.58	1.58
$\mu_{LT}^1$	7.60	7.60	7.60	7.60	7.60	7.60	7.60	7.60	7.60	7.60	7.60	7.60
ROP	600	650	700	771	800	850	900	950	1,000	1,050	1,100	1,150
z	0.91	1.03	1.16	1.34	1.41	1.54	1.67	1.79	1.92	2.05	2.17	2.30
IS	358	408	458	529	558	608	658	708	758	808	858	908
SL = P(Z <= z)	81.8%	84.9%	87.7%	91.0%	92.1%	93.8%	95.2%	96.4%	97.3%	98.0%	98.5%	98.9%

En la siguiente gráfica, se observa el comportamiento del nivel de servicio al variar el inventario de seguridad con el método propuesto.



Buscar un nivel de servicio alto, tendrá como requerimiento tener un alto nivel de inventario de seguridad. Con la ecuación de regresión, se puede observar que el crecimiento del nivel de servicio, es más lento que el del inventario.

#### 4.4 INVENTARIO DE SEGURIDAD

Para establecer el inventario de seguridad, se hizo un estudio análogo al hecho para el nivel de servicio. Con los valores de media y desviación estándar de los productos, tanto en demanda como en tiempo, se estableció el valor actual del inventario de seguridad utilizando el modelo propuesto. Al asumir una distribución normal para las variables aleatorias, se utilizó el siguiente modelo matemático.

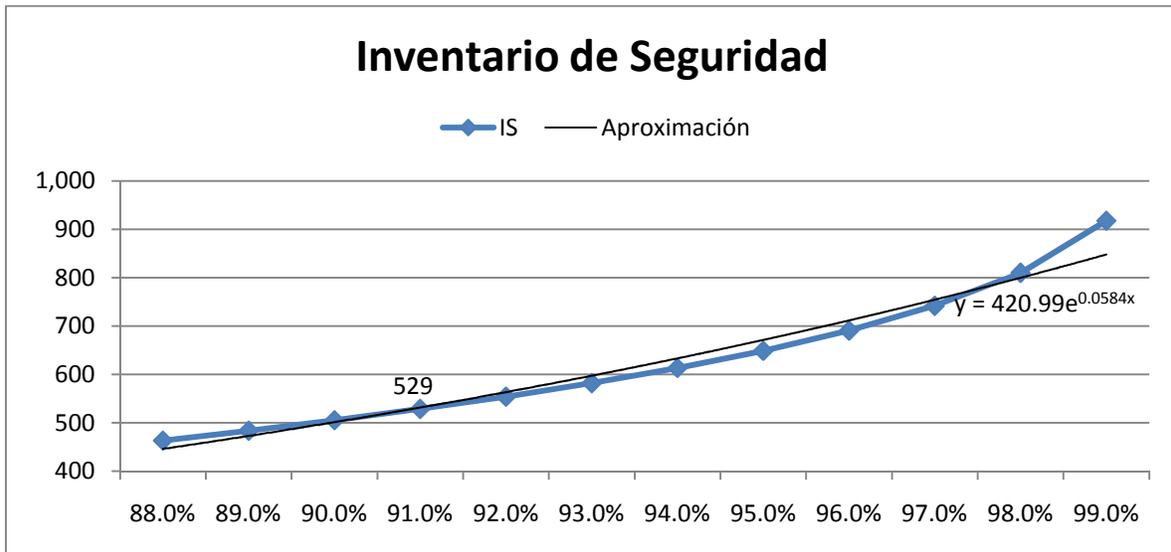
$$SL = Prob(Z \leq z)$$

$$I_S = z \times \sigma$$

En el siguiente cuadro se muestra el valor actual del inventario de seguridad, dado los resultados anteriores. En él, se hace una simulación de cómo cambia el nivel de servicio al variar el inventario de seguridad. El aumentar el nivel de servicio, implica estar dispuesto a aumentar el inventario de seguridad de manera exponencial. El resultado es análogo al de la revisión del nivel de servicio.

	Valor Actual											
Inventario de seguridad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\mu_{DL}$	242	242	242	242	242	242	242	242	242	242	242	242
$\sigma_{DL}$	395	395	395	395	395	395	395	395	395	395	395	395
$\mu_{LT}$	1.58	1.58	1.58	1.58	1.58	1.58	1.58	1.58	1.58	1.58	1.58	1.58
$\sigma_{LT}$	7.60	7.60	7.60	7.60	7.60	7.60	7.60	7.60	7.60	7.60	7.60	7.60
$SL = P(Z \leq z)$	88.0%	89.0%	90.0%	91.0%	92.0%	93.0%	94.0%	95.0%	96.0%	97.0%	98.0%	99.0%
$z$	1.17	1.23	1.28	1.34	1.41	1.48	1.55	1.64	1.75	1.88	2.05	2.33
ROP	706	726	748	771	797	825	856	891	933	984	1,053	1,160
IS	464	484	506	529	554	582	614	649	691	742	810	918

En la siguiente gráfica, se observa el impacto que tiene buscar aumentar el nivel de servicio en el inventario de seguridad con el método propuesto.



La ecuación de regresión indica que buscar una disminución en el inventario de seguridad tiene un impacto rápido en el cambio del nivel de servicio.

De estos dos comportamientos, se observa que es necesario encontrar el punto en el que, tanto el nivel de servicio, como el de inventario de seguridad, maximicen los objetivos de las organizaciones.

Lo anterior se podrá lograr al establecer un modelo de administración de inventario y pronóstico que aumente la certidumbre de las decisiones. El poder tener un pronóstico más certero sobre el comportamiento de la demanda es primordial para que se pueda hacer frente a la demanda de los clientes, sin la necesidad de sobre inventario por inventario de seguridad. La mejor manera de que esto se cumpla es disminuir el error del pronóstico.

## 4.5 PRONÓSTICO

Los siguientes resultados son sobre la verificación del modelo propuesto, así como del impacto que tiene sobre el probable resultado de la organización.

La base de datos de venta con la que se trabajó, se resumió en una tabla dinámica para obtener las ventas por mes durante los cinco años de historia.

Año	1	2	3	4	5
<b>Mes</b>	<b>51,690</b>	<b>63,543</b>	<b>52,245</b>	<b>53,663</b>	<b>37,089</b>
01	3,607	4,614	3,533	4,341	6,044
02	3,055	4,889	3,299	4,149	4,620
03	2,728	6,888	3,983	4,500	5,209
04	3,349	4,047	3,415	3,627	2,999
05	3,668	4,407	3,259	3,402	3,117
06	4,250	5,505	4,746	4,423	2,720
07	4,108	5,020	4,161	3,843	2,102
08	4,165	5,367	4,725	3,569	1,918
09	4,878	5,930	4,740	3,652	1,929
10	4,295	4,782	4,020	3,623	1,322
11	4,690	4,824	3,648	4,730	1,451
12	8,897	7,270	8,716	9,804	3,658
<b>Total general</b>	<b>51,690</b>	<b>63,543</b>	<b>52,245</b>	<b>53,663</b>	<b>37,089</b>

Para iniciar el procedimiento con el modelo de pronóstico propuesto, se generó la simulación para el año 5. Es decir, con los datos del año 1 al año 4 se generó la simulación para contrastar contra el valor real de la demanda y revisar el resultado obtenido para validar el modelo. Con las ventas de los primeros cuatro años de historia, se construyó la siguiente tabla.

Históricos				
Nivel a	4,307.500	5,295.250	4,353.750	4,471.917
Muestra				
Periodo	1	2	3	4
1	3,607	4,614	3,533	4,341
2	3,055	4,889	3,299	4,149
3	2,728	6,888	3,983	4,500
4	3,349	4,047	3,415	3,627
5	3,668	4,407	3,259	3,402
6	4,250	5,505	4,746	4,423
7	4,108	5,020	4,161	3,843
8	4,165	5,367	4,725	3,569
9	4,878	5,930	4,740	3,652
10	4,295	4,782	4,020	3,623
11	4,690	4,824	3,648	4,730
12	8,897	7,270	8,716	9,804

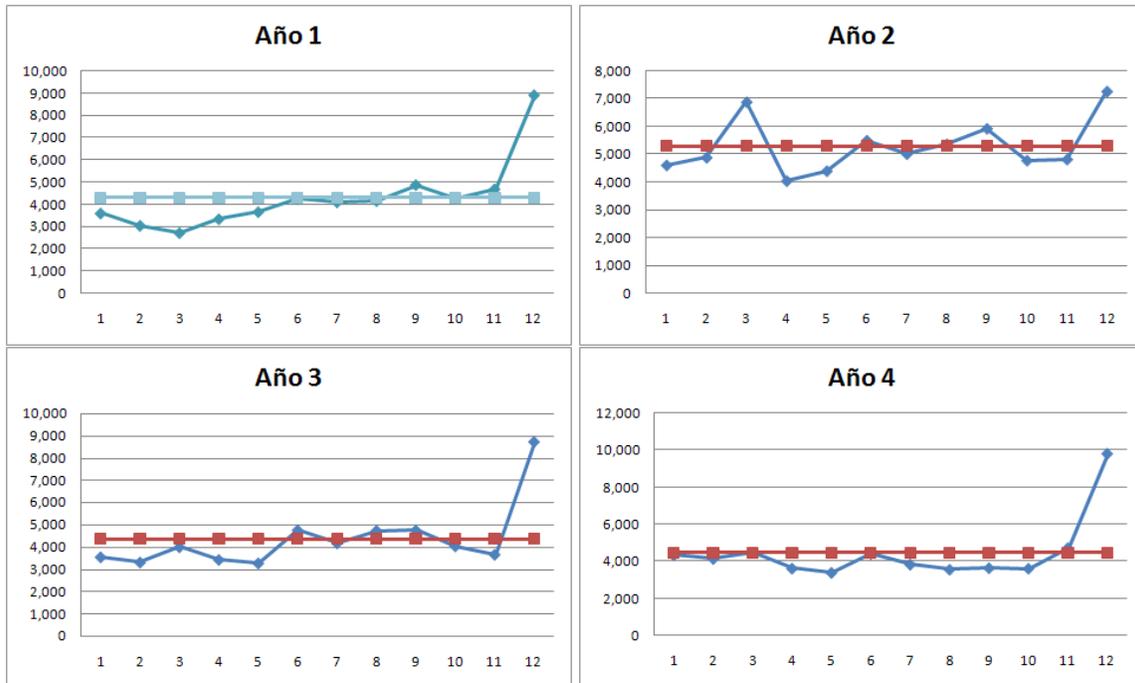
Para cada año se calculó el nivel de demanda presentado. De acuerdo al modelo, éste corresponde al promedio que se presentó durante los meses estudiados para cada uno. En el año 1 se observa un nivel de 4,307.5 unidades al mes. El mismo ejercicio se hizo para los siguientes años y se observó el cambio de nivel que presenta cada uno.

Una vez obtenidos estos valores, lo siguiente fue establecer cuáles fueron los índices de temporalidad que se presentaron en cada uno de los meses. Este cálculo se realizó de acuerdo al modelo propuesto y se obtuvo la siguiente tabla.

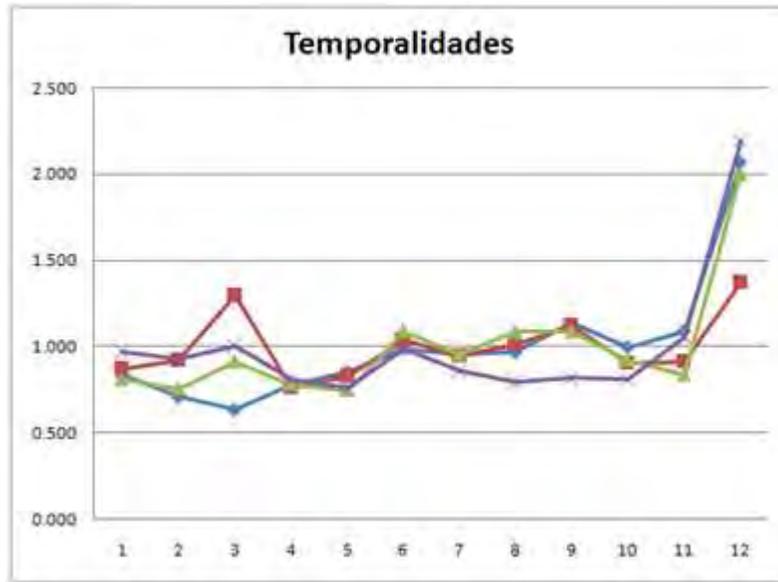
Indice de Temporalidad (F)				
Periodo	1	2	3	4
1	0.837	0.871	0.811	0.971
2	0.709	0.923	0.758	0.928
3	0.633	1.301	0.915	1.006
4	0.777	0.764	0.784	0.811
5	0.852	0.832	0.749	0.761
6	0.987	1.040	1.090	0.989
7	0.954	0.948	0.956	0.859
8	0.967	1.014	1.085	0.798
9	1.132	1.120	1.089	0.817
10	0.997	0.903	0.923	0.810
11	1.089	0.911	0.838	1.058
12	2.065	1.373	2.002	2.192

Los valores anteriores, nos dicen con respecto a qué nivel anual se mueve la demanda en el tiempo y en qué proporción a dicho nivel lo hacen. Al revisar los índices de temporalidad de cada uno de los años, se observó que se tienen “temporadas” a lo largo del tiempo. Ejemplo de esto es observar que durante los meses de inicio de año, la demanda se presenta por debajo del nivel, entre el 80 y 90%. A mediados de año, la demanda de los artículos presenta un incremento en todos los años.

Las siguientes gráficas muestran el comportamiento de la demanda y el nivel de cada año. En ellas se puede observar la fluctuación que tienen en el tiempo.



La siguiente gráfica muestra el comportamiento de los índices temporales en cada uno de los años estudiados.



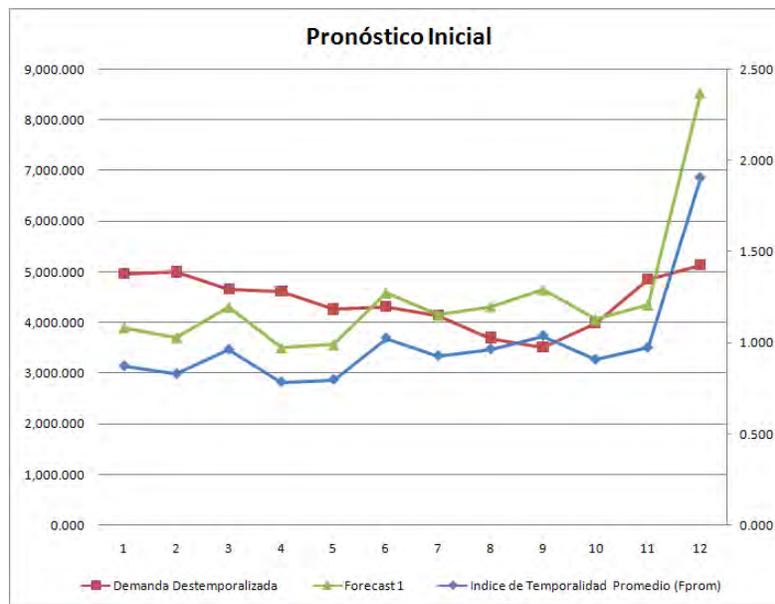
En las gráficas se puede observar que existen comportamientos diferentes en algunas partes del año. Estas variaciones se pueden presentar por diferencias en la demanda, generadas por el ruido. Este ruido lo pudo generar alguna promoción, agotados o factores externos que afectan el deseo de demanda del consumidor. Este efecto se disminuye al utilizar varios años, ya que con la nivelación de los índices de temporalidad se ajustan las variaciones para obtener un índice de temporalidad más estable.

### 4.5.1 INICIALIZACIÓN DEL PRONÓSTICO

La nivelación de los índices de temporalidad se genera con el modelo propuesto. De esta manera se establecen los índices que mejor ajustan a lo observado en los años anteriores. Una vez establecida la forma en que cambia la demanda en el tiempo, se establece la demanda destemporalizada que se tiene en cada periodo. De acuerdo al modelo propuesto, esto se hace con la demanda del periodo pasado inmediato. Con estos dos valores, se puede generar el pronóstico inicial para el estudio.

Periodo	Indice de Temporalidad Promedio (Fprom)	Demanda Destemporalizada	Forecast 1
	12.000		
1	0.873	4,974.029	3,902.79
2	0.830	5,001.754	3,709.50
3	0.964	4,668.987	4,310.06
4	0.784	4,624.515	3,507.32
5	0.798	4,261.701	3,569.81
6	1.026	4,309.427	4,589.77
7	0.929	4,135.820	4,155.30
8	0.966	3,694.778	4,319.68
9	1.039	3,513.495	4,648.20
10	0.908	3,988.243	4,062.38
11	0.974	4,856.993	4,354.99
12	1.908	5,137.896	8,533.20

La siguiente gráfica muestra la relación que existe entre estos tres conceptos.



Con la temporalidad nivelada se observa que existen diferentes momentos en el tiempo en los que se tiene un mayor deseo de compra, mientras que en otros disminuye.

Estos efectos también se observan en la demanda destemporalizada, ya que se va ajustando en el tiempo. La combinación de estas variables genera el pronóstico inicial. En éste se observan tres crestas en el año y varios valles de demanda. Sin embargo, se observa que el fin de año representa un cambio representativo en el volumen requerido. Estas observaciones aumentan la importancia de contar con un pronóstico certero sobre estos requerimientos.

#### 4.5.2 ACTUALIZACIÓN DEL PRONÓSTICO

Lo anterior hace necesario que el pronóstico se vaya ajustando, de acuerdo a la demanda observada durante el tiempo. Para hacer estos ajustes, se utilizó el modelo propuesto en este estudio. El modelo se basa en incluir las variables de suavizamiento que permitan minimizar los errores al reducir la distancia entre los puntos del pronóstico y de la demanda observada. Con base en esta lógica, lo primero que se hizo fue inicializar las variables. Esta inicialización se hizo con los siguientes valores aleatorios.

$\alpha$	0.2
$\gamma$	0.5

Con estos factores se generó la actualización del pronóstico. Cada que se terminaba un periodo de tiempo (mes), se hizo el ajuste correspondiente, analizando la diferencia entre el valor pronosticado y la demanda real. Con este seguimiento se estableció el nuevo pronóstico para un cierto periodo del año. El primer mes se trabajó con el pronóstico inicial, una vez terminado se hizo el registro de la demanda observada. Utilizando el valor de la variable  $\alpha$ , se hizo el ajuste necesario para el nivel requerido. Con este nuevo valor, se calculó la nueva demanda destemporalizada. Este resultado generó un nuevo índice de temporalidad, el cual se ajustó haciendo uso de la variable  $\gamma$ . Una vez con las variables demanda destemporalizada e índice temporal actualizadas, se generó el nuevo pronóstico. Al terminar el periodo pronosticado, se registró la demanda real observada; reiniciando el proceso para el siguiente periodo.

El procedimiento anterior, se repitió para cada uno de los meses. De esta manera se generaron doce iteraciones. Los siguientes cuadros muestran las iteraciones que se hicieron para la simulación del modelo para el año 5.

##### Primera iteración

	Nivel a_anterior	Indice de Temporalidad anterior	Demanda observada	Demanda Destemporalizada 2	Nivel a_nuevo	Indice de Temporalidad observado	F nuevo	F normalizado	Periodo	Forecast 2
Primera iteración							12.173	12.000		
1	4,471.917	0.873	6,044	6,925.370	4,962.607	1.218	1.045	1.030	1	
2							0.830	0.818	2	4,058.16
3							0.964	0.950	3	4,715.18
4							0.784	0.773	4	3,836.98
5							0.798	0.787	5	3,905.35
6							1.026	1.012	6	5,021.18
7							0.929	0.916	7	4,545.87
8							0.966	0.952	8	4,725.70
9							1.039	1.025	9	5,085.10
10							0.908	0.896	10	4,444.21
11							0.974	0.960	11	4,764.33
12							1.908	1.881	12	9,335.26

**Optimización de la disponibilidad de producto mediante el modelo de agregación de inventario en una empresa detallista**

**Segunda iteración**

	Nivel a anterior	Indice de Temporalidad anterior	Demanda observada	Demanda Destemporizada 2	Nivel a nuevo	Indice de Temporalidad observado	F nuevo	F normalizado	Periodo	Forecast 2
Segunda iteración							12.205	12.000		
1	4,471.917	0.873	6,044.000	6,925.370	4,962.607	1.218	1.045	1.028	1	
2	4,962.607	0.818	4,620	5,649.663	5,100.018	0.906	0.862	0.847	2	
3							0.964	0.948	3	4,832.91
4							0.784	0.771	4	3,932.79
5							0.798	0.785	5	4,002.86
6							1.026	1.009	6	5,146.55
7							0.929	0.914	7	4,659.38
8							0.966	0.950	8	4,843.70
9							1.039	1.022	9	5,212.07
10							0.908	0.893	10	4,555.18
11							0.974	0.958	11	4,883.29
12							1.908	1.876	12	9,568.35

**Tercera iteración**

	Nivel a anterior	Indice de Temporalidad anterior	Demanda observada	Demanda Destemporizada 2	Nivel a nuevo	Indice de Temporalidad observado	F nuevo	F normalizado	Periodo	Forecast 2
Tercer iteración							12.218	12.000		
1	4,471.917	0.873	6,044	6,925.370	4,962.607	1.218	1.045	1.027	1	
2	4,962.607	0.818	4,620	5,649.663	5,100.018	0.906	0.862	0.846	2	
3	5,100.018	0.948	5,209	5,496.892	5,179.393	1.006	0.977	0.959	3	
4							0.784	0.770	4	3,989.79
5							0.798	0.784	5	4,060.88
6							1.026	1.008	6	5,221.15
7							0.929	0.913	7	4,726.91
8							0.966	0.949	8	4,913.91
9							1.039	1.021	9	5,287.62
10							0.908	0.892	10	4,621.21
11							0.974	0.956	11	4,954.07
12							1.908	1.874	12	9,707.04

**Cuarta iteración**

	Nivel a anterior	Indice de Temporalidad anterior	Demanda observada	Demanda Destemporizada 2	Nivel a nuevo	Indice de Temporalidad observado	F nuevo	F normalizado	Periodo	Forecast 2
Cuarta iteración							12.123	12.000		
1	4,471.917	0.873	6,044	6,925.370	4,962.607	1.218	1.045	1.035	1	
2	4,962.607	0.818	4,620	5,649.663	5,100.018	0.906	0.862	0.853	2	
3	5,100.018	0.948	5,209	5,496.892	5,179.393	1.006	0.977	0.967	3	
4	5,179.393	0.770	2,999	3,893.188	4,922.152	0.609	0.690	0.683	4	
5							0.798	0.790	5	3,889.27
6							1.026	1.016	6	5,000.51
7							0.929	0.920	7	4,527.16
8							0.966	0.956	8	4,706.25
9							1.039	1.029	9	5,064.17
10							0.908	0.899	10	4,425.92
11							0.974	0.964	11	4,744.72
12							1.908	1.889	12	9,296.83

**Quinta iteración**

	Nivel a anterior	Indice de Temporalidad anterior	Demanda observada	Demanda Destemporizada 2	Nivel a nuevo	Indice de Temporalidad observado	F nuevo	F normalizado	Periodo	Forecast 2
Quinta iteración							12.050	12.000		
1	4,471.917	0.873	6,044	6,925.370	4,962.607	1.218	1.045	1.041	1	
2	4,962.607	0.818	4,620	5,649.663	5,100.018	0.906	0.862	0.858	2	
3	5,100.018	0.948	5,209	5,496.892	5,179.393	1.006	0.977	0.973	3	
4	5,179.393	0.770	2,999	3,893.188	4,922.152	0.609	0.690	0.687	4	
5	4,922.152	0.790	3,117	3,944.788	4,726.679	0.659	0.725	0.722	5	
6							1.026	1.022	6	4,831.20
7							0.929	0.925	7	4,373.88
8							0.966	0.962	8	4,546.91
9							1.039	1.035	9	4,892.71
10							0.908	0.905	10	4,276.07
11							0.974	0.970	11	4,584.07
12							1.908	1.900	12	8,982.06

**Optimización de la disponibilidad de producto mediante el modelo de agregación de inventario en una empresa detallista**

**Sexta iteración**

	Nivel a anterior	Indice de Temporalidad anterior	Demanda observada	Demanda Destemporizada 2	Nivel a nuevo	Indice de Temporalidad observado	F nuevo	F normalizado	Periodo	Forecast 2
Sexta iteración							11.850	12.000		
1	4,471.917	0.873	6,044	6,925.370	4,962.607	1.218	1.045	1.059	1	
2	4,962.607	0.818	4,620	5,649.663	5,100.018	0.906	0.862	0.873	2	
3	5,100.018	0.948	5,209	5,496.892	5,179.393	1.006	0.977	0.989	3	
4	5,179.393	0.770	2,999	3,893.188	4,922.152	0.609	0.690	0.699	4	
5	4,922.152	0.790	3,117	3,944.788	4,726.679	0.659	0.725	0.734	5	
6	4,726.679	1.022	2,720	2,661.152	4,313.574	0.631	0.826	0.837	6	
7							0.929	0.941	7	4,058.98
8							0.966	0.978	8	4,219.55
9							1.039	1.053	9	4,540.46
10							0.908	0.920	10	3,968.21
11							0.974	0.986	11	4,254.04
12							1.908	1.932	12	8,335.40

**Séptima iteración**

	Nivel a anterior	Indice de Temporalidad anterior	Demanda observada	Demanda Destemporizada 2	Nivel a nuevo	Indice de Temporalidad observado	F nuevo	F normalizado	Periodo	Forecast 2
Séptima iteración							11.661	12.000		
1	4,471.917	0.873	6,044	6,925.370	4,962.607	1.218	1.045	1.076	1	
2	4,962.607	0.818	4,620	5,649.663	5,100.018	0.906	0.862	0.887	2	
3	5,100.018	0.948	5,209	5,496.892	5,179.393	1.006	0.977	1.005	3	
4	5,179.393	0.770	2,999	3,893.188	4,922.152	0.609	0.690	0.710	4	
5	4,922.152	0.790	3,117	3,944.788	4,726.679	0.659	0.725	0.746	5	
6	4,726.679	1.022	2,720	2,661.152	4,313.574	0.631	0.826	0.850	6	
7	4,313.574	0.941	2,102	2,233.845	3,897.628	0.539	0.740	0.762	7	
8							0.966	0.994	8	3,874.49
9							1.039	1.070	9	4,169.15
10							0.908	0.935	10	3,643.70
11							0.974	1.002	11	3,906.16
12							1.908	1.964	12	7,653.75

**Octava iteración**

	Nivel a anterior	Indice de Temporalidad anterior	Demanda observada	Demanda Destemporizada 2	Nivel a nuevo	Indice de Temporalidad observado	F nuevo	F normalizado	Periodo	Forecast 2
Octava iteración							11.465	12.000		
1	4,471.917	0.873	6,044	6,925.370	4,962.607	1.218	1.045	1.094	1	
2	4,962.607	0.818	4,620	5,649.663	5,100.018	0.906	0.862	0.902	2	
3	5,100.018	0.948	5,209	5,496.892	5,179.393	1.006	0.977	1.022	3	
4	5,179.393	0.770	2,999	3,893.188	4,922.152	0.609	0.690	0.722	4	
5	4,922.152	0.790	3,117	3,944.788	4,726.679	0.659	0.725	0.759	5	
6	4,726.679	1.022	2,720	2,661.152	4,313.574	0.631	0.826	0.865	6	
7	4,313.574	0.941	2,102	2,233.845	3,897.628	0.539	0.740	0.775	7	
8	3,897.628	0.994	1,918	1,929.454	3,503.993	0.547	0.771	0.807	8	
9							1.039	1.088	9	3,811.92
10							0.908	0.951	10	3,331.49
11							0.974	1.019	11	3,571.46
12							1.908	1.997	12	6,997.94

**Novena iteración**

	Nivel a anterior	Indice de Temporalidad anterior	Demanda observada	Demanda Destemporizada 2	Nivel a nuevo	Indice de Temporalidad observado	F nuevo	F normalizado	Periodo	Forecast 2
Novena iteración							11.275	12.000		
1	4,471.917	0.873	6,044	6,925.370	4,962.607	1.218	1.045	1.112	1	
2	4,962.607	0.818	4,620	5,649.663	5,100.018	0.906	0.862	0.917	2	
3	5,100.018	0.948	5,209	5,496.892	5,179.393	1.006	0.977	1.039	3	
4	5,179.393	0.770	2,999	3,893.188	4,922.152	0.609	0.690	0.734	4	
5	4,922.152	0.790	3,117	3,944.788	4,726.679	0.659	0.725	0.771	5	
6	4,726.679	1.022	2,720	2,661.152	4,313.574	0.631	0.826	0.879	6	
7	4,313.574	0.941	2,102	2,233.845	3,897.628	0.539	0.740	0.788	7	
8	3,897.628	0.994	1,918	1,929.454	3,503.993	0.547	0.771	0.820	8	
9	3,503.993	1.088	1,929	1,773.176	3,157.830	0.611	0.849	0.904	9	
10							0.908	0.967	10	3,387.65
11							0.974	1.036	11	3,631.66
12							1.908	2.031	12	7,115.89

**Optimización de la disponibilidad de producto mediante el modelo de agregación de inventario en una empresa detallista**

**Décima iteración**

	Nivel a anterior	Indice de Temporalidad anterior	Demanda observada	Demanda Destemporizada 2	Nivel a nuevo	Indice de Temporalidad observado	F nuevo	F normalizado	Periodo	Forecast 2
Décima iteración							11.087	12.000		
1	4,471.917	0.873	6,044	6,925.370	4,962.607	1.218	1.045	1.131	1	
2	4,962.607	0.818	4,620	5,649.663	5,100.018	0.906	0.862	0.933	2	
3	5,100.018	0.948	5,209	5,496.892	5,179.393	1.006	0.977	1.057	3	
4	5,179.393	0.770	2,999	3,893.188	4,922.152	0.609	0.690	0.747	4	
5	4,922.152	0.790	3,117	3,944.788	4,726.679	0.659	0.725	0.785	5	
6	4,726.679	1.022	2,720	2,661.152	4,313.574	0.631	0.826	0.894	6	
7	4,313.574	0.941	2,102	2,233.845	3,897.628	0.539	0.740	0.801	7	
8	3,897.628	0.994	1,918	1,929.454	3,503.993	0.547	0.771	0.834	8	
9	3,503.993	1.088	1,929	1,773.176	3,157.830	0.611	0.849	0.919	9	
10	3,157.830	0.967	1,322	1,367.403	2,799.744	0.472	0.719	0.779	10	
11							0.974	1.054		3,693.55
12							1.908	2.065		7,237.16

**Onceava iteración**

	Nivel a anterior	Indice de Temporalidad anterior	Demanda observada	Demanda Destemporizada 2	Nivel a nuevo	Indice de Temporalidad observado	F nuevo	F normalizado	Periodo	Forecast 2
Onceava iteración							10.928	12.000		
1	4,471.917	0.873	6,044	6,925.370	4,962.607	1.218	1.045	1.148	1	
2	4,962.607	0.818	4,620	5,649.663	5,100.018	0.906	0.862	0.946	2	
3	5,100.018	0.948	5,209	5,496.892	5,179.393	1.006	0.977	1.072	3	
4	5,179.393	0.770	2,999	3,893.188	4,922.152	0.609	0.690	0.757	4	
5	4,922.152	0.790	3,117	3,944.788	4,726.679	0.659	0.725	0.796	5	
6	4,726.679	1.022	2,720	2,661.152	4,313.574	0.631	0.826	0.907	6	
7	4,313.574	0.941	2,102	2,233.845	3,897.628	0.539	0.740	0.813	7	
8	3,897.628	0.994	1,918	1,929.454	3,503.993	0.547	0.771	0.846	8	
9	3,503.993	1.088	1,929	1,773.176	3,157.830	0.611	0.849	0.933	9	
10	3,157.830	0.967	1,322	1,367.403	2,799.744	0.472	0.719	0.790	10	
11	2,799.744	1.054	1,451	1,376.534	2,515.102	0.577	0.816	0.895	11	
12							1.908	2.095		7,342.02

**Registro final de la demanda observada**

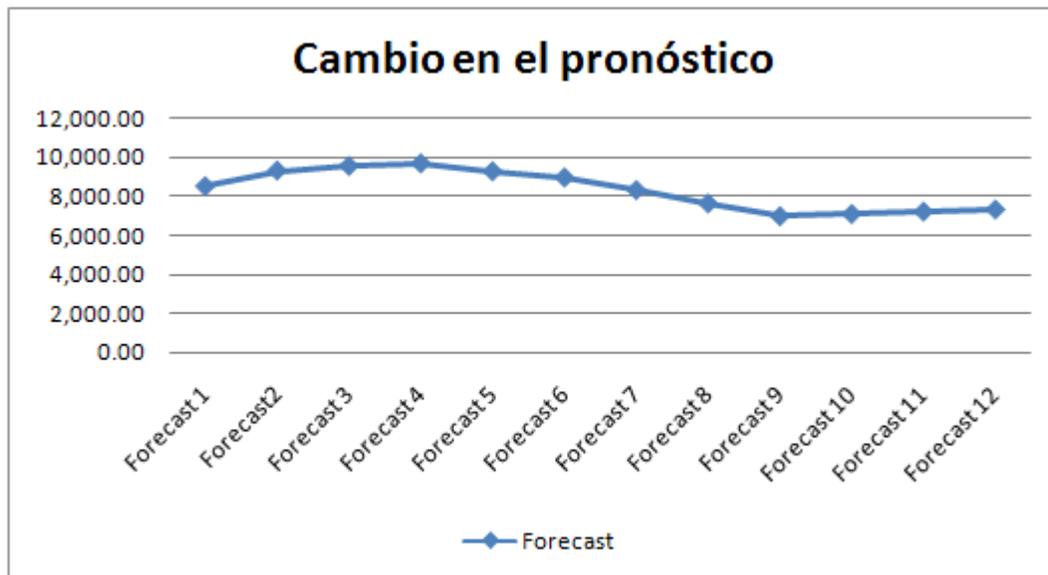
	Nivel a anterior	Indice de Temporalidad anterior	Demanda observada	Demanda Destemporizada 2	Nivel a nuevo	Indice de Temporalidad observado	F nuevo	F normalizado	Periodo	Forecast 2
Doceava iteración							10.842	12.000		
1	4,471.917	0.873	6,044	6,925.370	4,962.607	1.218	1.045	1.157	1	
2	4,962.607	0.818	4,620	5,649.663	5,100.018	0.906	0.862	0.954	2	
3	5,100.018	0.948	5,209	5,496.892	5,179.393	1.006	0.977	1.081	3	
4	5,179.393	0.770	2,999	3,893.188	4,922.152	0.609	0.690	0.763	4	
5	4,922.152	0.790	3,117	3,944.788	4,726.679	0.659	0.725	0.802	5	
6	4,726.679	1.022	2,720	2,661.152	4,313.574	0.631	0.826	0.915	6	
7	4,313.574	0.941	2,102	2,233.845	3,897.628	0.539	0.740	0.819	7	
8	3,897.628	0.994	1,918	1,929.454	3,503.993	0.547	0.771	0.853	8	
9	3,503.993	1.088	1,929	1,773.176	3,157.830	0.611	0.849	0.940	9	
10	3,157.830	0.967	1,322	1,367.403	2,799.744	0.472	0.719	0.796	10	
11	2,799.744	1.054	1,451	1,376.534	2,515.102	0.577	0.816	0.903	11	
12	2,515.102	2.095	3,658	1,745.787	2,361.239	1.549	1.822	2.017	12	

Con el fin de llevar un seguimiento sobre el cambio del pronóstico tras la actualización de las variables, se generó el siguiente cuadro.

Periodo	Indice de Temporalidad Promedio (Fíjono)	Demanda Destemporizada	Forecast 1	Forecast 2	Forecast 3	Forecast 4	Forecast 5	Forecast 6	Forecast 7	Forecast 8	Forecast 9	Forecast 10	Forecast 11	Forecast 12	Forecast 13
1	0.873	4,974.029	3,902.79												
2	0.830	5,001.754	3,709.50	4,058											
3	0.964	4,668.987	4,310.06	4,715	4,833										
4	0.784	4,624.513	3,507.32	3,837	3,953	3,989.79									
5	0.798	4,261.701	3,569.81	3,905	4,003	4,060.88	3,889.27								
6	1.026	4,309.427	4,589.77	5,021	5,147	5,221.15	5,000.51	4,831.20							
7	0.920	4,135.820	4,155.30	4,546	4,659	4,726.91	4,527.16	4,373.88	4,058.98						
8	0.966	3,694.778	4,319.68	4,726	4,844	4,913.91	4,706.25	4,546.91	4,219.55	3,874.40					
9	1.039	3,513.485	4,548.20	5,085	5,212	5,287.62	5,064.17	4,892.71	4,540.46	4,168.15	3,811.92				
10	0.908	3,988.243	4,062.38	4,444	4,555	4,621.21	4,425.92	4,276.07	3,968.21	3,643.70	3,331.49	3,387.65			
11	0.974	4,856.993	4,354.99	4,764	4,883	4,954.07	4,744.72	4,584.07	4,254.04	3,906.16	3,571.46	3,631.66	3,693.55		
12	1.908	5,137.896	8,533.20	9,335	9,568	9,707.04	9,296.83	8,982.06	8,335.40	7,653.75	6,997.94	7,115.89	7,237.16	7,342.02	

En él se llevó un registro del pronóstico generado en la iteración anterior para el periodo. Este registro se llevó para cada uno de los meses. De esta manera, se obtuvo una base referencia que contiene desde el pronóstico inicial, hasta el pronóstico final.

Para ejemplificar esta parte, se hizo una revisión sobre el pronóstico del último mes. En el siguiente gráfico se observa el ajuste que presentó el pronóstico para el mes 12.

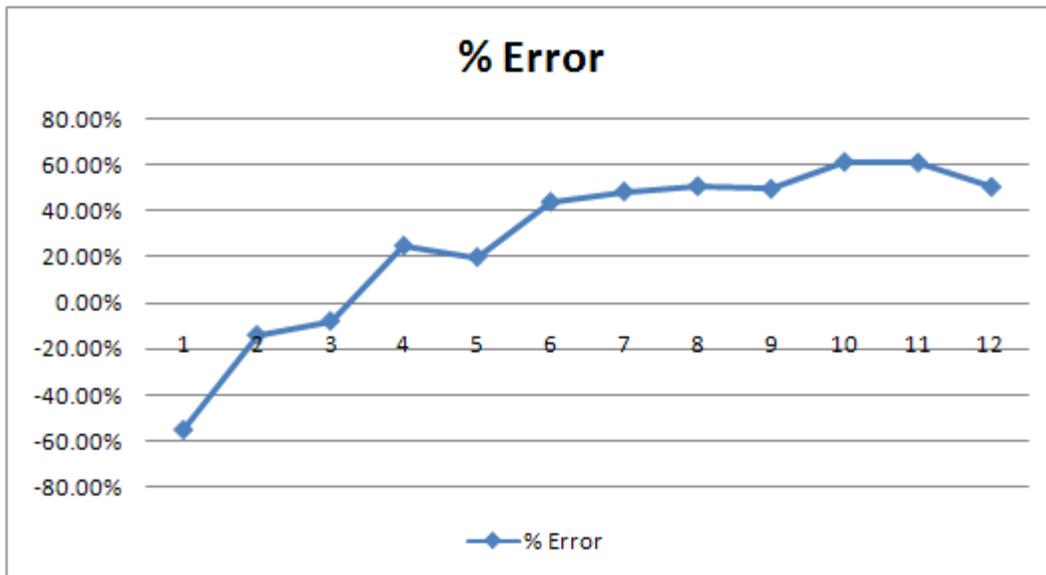


### 4.5.3 MEDICIÓN DE ERRORES

Con los pronósticos actualizados, se hizo la medición del error presentado en cada uno de los periodos. De esta forma se generó una tabla que muestra la diferencia en unidades entre el pronóstico y la demanda real observada. Algunos de estos errores eran por arriba del pronóstico y otro por debajo del pronóstico. Lo anterior, generó que se tuvieran errores negativos y positivos. Para disminuir el ruido que pudiera ingresar que errores positivos se cancelen con errores negativos, se utilizó el error cuadrático medio (MSE).

Periodo	Forecast Acutalizado	Demanda observada	Error de pronóstico	MSE	% Error
1	3,903	6,044	-2,141	4,584,780	-54.86%
2	4,058	4,620	-562	315,662	-13.84%
3	4,833	5,209	-376	141,442	-7.78%
4	3,990	2,999	991	981,664	24.83%
5	3,889	3,117	772	596,401	19.86%
6	4,831	2,720	2,111	4,457,178	43.70%
7	4,059	2,102	1,957	3,829,775	48.21%
8	3,874	1,918	1,956	3,827,851	50.50%
9	3,812	1,929	1,883	3,545,386	49.40%
10	3,388	1,322	2,066	4,266,898	60.98%
11	3,694	1,451	2,243	5,029,018	60.72%
12	7,342	3,658	3,684	13,572,028	50.18%
	<b>51,673</b>	<b>37,089</b>	<b>14,584</b>	<b>45,148,084</b>	<b>28.22%</b>

En la tabla se observa que el error de pronóstico que se tuvo para el año 5 fue del 28.22%.



#### 4.5.4 AJUSTE DE PARÁMETROS $\alpha$ Y $\gamma$

La simulación busca validar si el modelo propuesto aporta beneficios a la organización. Tomando en cuenta esta consideración, se hizo la actualización de las variables de suavizamiento para observar el impacto que tiene el establecimiento de éstas.

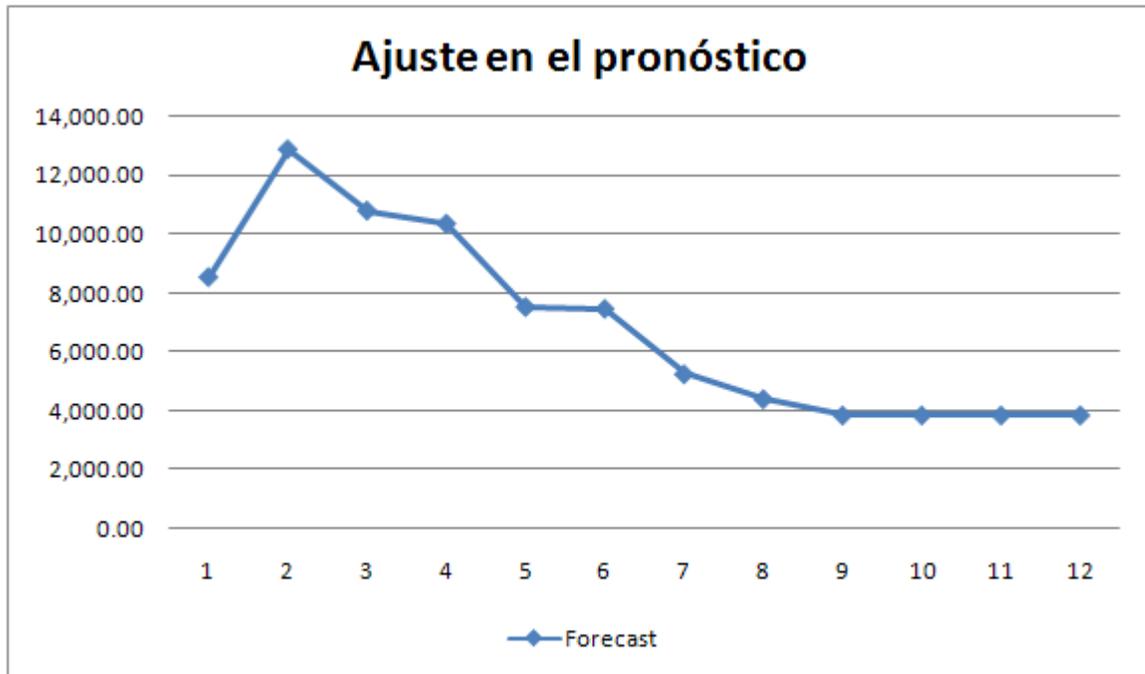
Para hacer la actualización, se utilizó la función SOLVER de EXCEL. La función objetivo fue minimizar el MSE de las mediciones. Estableciendo las restricciones correspondientes a  $\alpha$  y  $\gamma$ . El resultado fue actualizar las variables a los siguientes valores.

$\alpha$	<b>0.927487832</b>
$\gamma$	<b>1E-05</b>

Con las variables ajustadas para minimizar el MSE, se obtuvo el nuevo pronóstico para los periodos. De la misma manera, se hizo un concentrado de los cambios presentados en el tiempo.

Periodo	Índice de Temporalidad Promedio (Prom)	Demanda Destempeoralizada	Forecast 1	Forecast2	Forecast 3	Forecast 4	Forecast 5	Forecast 6	Forecast 7	Forecast 8	Forecast 9	Forecast 10	Forecast 11	Forecast 12	Forecast 13
1	0.973	4,974.029	3,902.79												
2	0.939	5,001.754	3,709.69	5,597											
3	0.964	4,668.987	4,310.06	6,503	5,450										
4	0.784	4,624.515	3,507.32	5,292	4,435	4,253.07									
5	0.798	4,261.701	3,569.81	5,386	4,514	4,328.85	3,144.99								
6	1.026	4,309.427	4,589.77	6,325	5,804	5,585.68	4,043.57	4,010.20							
7	0.929	4,135.520	4,155.20	6,270	5,255	5,038.83	3,660.81	3,630.59	2,547.22						
8	0.966	3,694.778	4,319.68	6,518	5,462	5,238.16	3,805.63	3,774.21	2,647.99	2,218.72					
9	1.039	3,513.495	4,648.20	7,013	5,878	5,636.54	4,095.05	4,061.25	2,849.37	2,387.45	2,087.33				
10	0.908	3,988.243	4,062.38	6,130	5,137	4,926.15	3,578.94	3,549.40	2,490.26	2,086.56	1,824.26	1,824.26			
11	0.974	4,856.993	4,354.99	6,571	5,507	5,280.98	3,936.73	3,905.06	2,689.63	2,236.85	1,955.66	1,955.66	1,955.66		
12	1.968	5,137.896	8,533.20	12,875	10,791	10,347.58	7,517.72	7,455.66	5,230.89	4,382.90	3,831.93	3,831.93	3,831.93	3,831.93	

Para ejemplificar el efecto de la actualización de las variables, se graficó el cambio en el pronóstico para el mes 12.



En la gráfica se observa que el ajuste en el pronóstico es más pronunciado que con el valor inicial de las variables.

#### 4.5.5 MEDICIÓN DEL ERROR DE PRONÓSTICO

El error de pronóstico que se genera tras la aplicación del modelo se midió bajo los mismos principios que el error sin el ajuste de las variables de suavizamiento. Para cada periodo, se registró la diferencia entre el pronóstico generado y la demanda real observada. Con estos datos se calculó el porcentaje de error de cada periodo. Dado que algunos errores quedaron por arriba del pronóstico y otros por debajo, se tuvieron errores positivos y negativos. Con la finalidad de disminuir el ruido asociado a que los valores positivos se cancelen con los negativos, se calculó el MSE del error de pronóstico. La siguiente tabla muestra el resultado obtenido.

Periodo	Forecast Acutalizado	Demanda observada	Error de pronóstico	MSE	% Error
1	3,903	6,044	-2,141	4,584,780	-54.86%
2	5,597	4,620	977	954,691	17.46%
3	5,450	5,209	241	58,225	4.43%
4	4,253	2,999	1,254	1,572,685	29.49%
5	3,145	3,117	28	783	0.89%
6	4,010	2,720	1,290	1,664,606	32.17%
7	2,547	2,102	445	198,222	17.48%
8	2,219	1,918	301	90,430	13.55%
9	2,087	1,929	158	25,069	7.59%
10	1,824	1,322	502	252,265	27.53%
11	1,956	1,451	505	254,683	25.81%
12	3,832	3,658	174	30,253	4.54%
	<b>40,824</b>	<b>37,089</b>	<b>3,735</b>	<b>9,686,693</b>	<b>9.15%</b>

Este cuadro muestra el efecto que tuvo aplicar la actualización de las variables de suavizamiento en la estimación del pronóstico. El error pasó de 28.22% a 9.15%, lo cual representó un ajuste significativo a la demanda observada. La siguiente gráfica muestra la relación existente entre los cambios entre el error inicial y el error tras el ajuste. En ella, se puede observar que se obtiene una disminución del error, además de un nivel más estable de la desviación.



Con lo anterior se verifica que el modelo sirve para disminuir el error en la estimación, teniendo como consecuencia una mayor certeza en el pronóstico. Esta disminución del error se podrá traducir en una mejor planeación de eventos y en la reducción de costos asociados con el inventario.

#### 4.5.6 GENERACIÓN DEL PRONÓSTICO PARA EL AÑO 6

Con los resultados anteriores, se verifica que el modelo tiene impactos positivos sobre la generación del pronóstico y la disminución del error asociado. Por lo anterior, se procedió a aplicar el modelo al año 6 para generar las estimaciones.

Primero se utilizaron los datos de ventas para los cinco años de historia.

Históricos					
Nivel a	4,307.5	5,295.3	4,353.8	4,471.9	3,090.8
Muestra					
Periodo	1	2	3	4	5
1	3,607	4,614	3,533	4,341	6,044
2	3,055	4,889	3,299	4,149	4,620
3	2,728	6,888	3,983	4,500	5,209
4	3,349	4,047	3,415	3,627	2,999
5	3,668	4,407	3,259	3,402	3,117
6	4,250	5,505	4,746	4,423	2,720
7	4,108	5,020	4,161	3,843	2,102
8	4,165	5,367	4,725	3,569	1,918
9	4,878	5,930	4,740	3,652	1,929
10	4,295	4,782	4,020	3,623	1,322
11	4,690	4,824	3,648	4,730	1,451
12	8,897	7,270	8,716	9,804	3,658

Con estos datos se calculan los índices de temporalidad para los años en estudio.

Indice de Temporalidad (F)					
Periodo	1	2	3	4	5
1	0.837	0.871	0.811	0.971	1.956
2	0.709	0.923	0.758	0.928	1.495
3	0.633	1.301	0.915	1.006	1.685
4	0.777	0.764	0.784	0.811	0.970
5	0.852	0.832	0.749	0.761	1.008
6	0.987	1.040	1.090	0.989	0.880
7	0.954	0.948	0.956	0.859	0.680
8	0.967	1.014	1.085	0.798	0.621
9	1.132	1.120	1.089	0.817	0.624
10	0.997	0.903	0.923	0.810	0.428
11	1.089	0.911	0.838	1.058	0.469
12	2.065	1.373	2.002	2.192	1.184

Con los datos recopilados, se inicializó el pronóstico para el año 6.

	Indice de Temporalidad Promedio (Fprom)	Demanda Destemporalizada	Forecast 1
Periodo	12.00		
1	1.09	5,548.6	3,366.7
2	0.96	4,799.7	2,975.0
3	1.11	4,700.8	3,424.9
4	0.82	3,650.6	2,539.1
5	0.84	3,709.3	2,597.2
6	1.00	2,727.9	3,081.8
7	0.88	2,390.3	2,717.9
8	0.90	2,138.5	2,772.0
9	0.96	2,017.0	2,955.9
10	0.81	1,627.5	2,510.6
11	0.87	1,662.1	2,698.2
12	1.76	2,074.6	5,449.8

De manera análoga a la simulación para el año 5, se inicializan los factores de suavizamiento. Para pronosticar el año 6, se utilizaron los valores que minimizaron los errores en el año 5.

$\alpha$	0.927487832
$\gamma$	1E-05

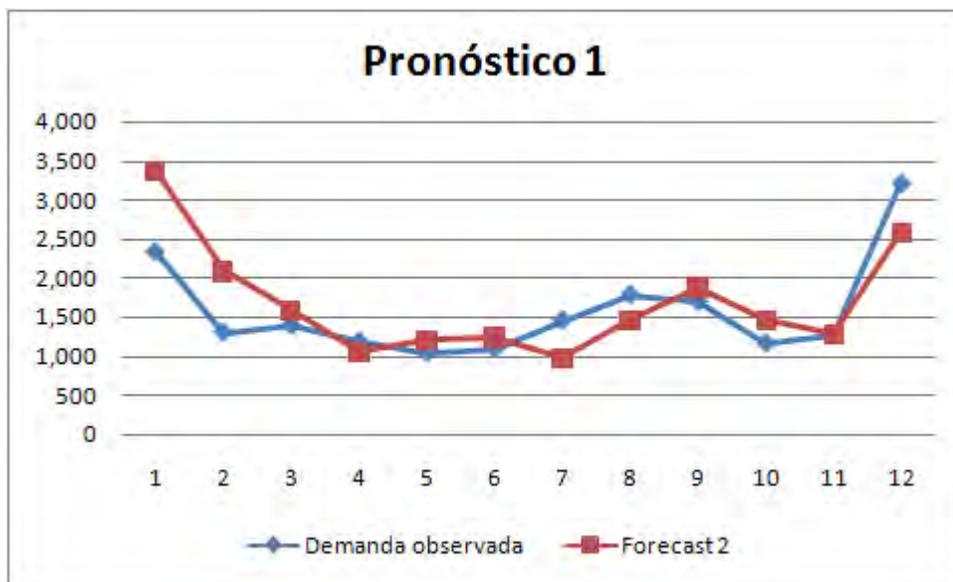
Con estos valores se trabajó en el cálculo del pronóstico para cada uno de los meses. De manera análoga a la simulación, se registró la demanda real observada y se contrastó contra el valor del pronóstico generado. Utilizando los factores de suavizamiento, se recalcularon los valores para el nivel y para el índice de temporalidad.

	Nivel a anterior	Indice de Temporalidad anterior	Demanda observada	Demanda Destemporalizada 2	Nivel a nuevo	Indice de Temporalidad observado	F nuevo	F normalizado	Periodo	Forecast 2
Primera iteración							11.983	12.000		
1	3,090.750	1.089	2,339	2,147.272	2,215.686	1.056	1.079	1.081		3,366.72
2	2,215.686	0.952	1,303	1,369.130	1,430.515	0.911	0.939	0.941	2,109	2,084.48
3	1,430.515	1.108	1,389	1,253.702	1,266.523	1.097	1.105	1.106	1,585	1,582.33
4	1,266.523	0.826	1,185	1,434.485	1,422.305	0.833	0.828	0.829	1,046	1,050.43
5	1,422.305	0.842	1,040	1,234.528	1,248.144	0.833	0.840	0.841	1,198	1,195.97
6	1,248.144	1.000	1,089	1,089.439	1,100.947	0.989	0.996	0.998	1,248	1,245.50
7	1,100.947	0.882	1,457	1,652.526	1,612.529	0.904	0.888	0.890	971	979.30
8	1,612.529	0.899	1,786	1,987.621	1,960.422	0.911	0.902	0.904	1,449	1,457.06
9	1,960.422	0.958	1,698	1,772.456	1,786.086	0.950	0.956	0.958	1,878	1,877.54
10	1,786.086	0.813	1,163	1,430.177	1,455.985	0.799	0.812	0.813	1,453	1,452.87
11	1,455.985	0.874	1,277	1,460.596	1,460.262	0.874	0.873	0.874	1,273	1,272.85
12	1,460.262	1.766	3,219	1,823.039	1,796.733	1.792	1.763	1.766	2,578	2,578.46

El error inicial obtenido se registró en la siguiente tabla. Con la finalidad de reducir el ruido introducido por los errores positivos y negativos; se calculó el MSE de las mediciones.

		Error de pronóstico	MSE	% Error
Primera iteración			2,634,206	
	1	1,028	1,056,208	30.5%
	2	781	610,717	37.5%
	3	193	37,377	12.2%
	4	-135	18,109	-12.8%
	5	156	24,326	13.0%
	6	156	24,492	12.6%
	7	-478	228,199	-48.8%
	8	-329	108,202	-22.6%
	9	180	32,407	9.6%
	10	290	83,816	19.9%
	11	-4	16	-0.3%
	12	-641	410,337	-24.8%

La siguiente gráfica, muestra el comportamiento que presenta el pronóstico generado contra la demanda real observada.



En ella se puede observar periodos en los que el pronóstico se desfasa de la demanda en mayores proporciones. El objetivo fue disminuir esta desviación, con la finalidad de obtener pronósticos más certeros.

Para completar la revisión de los impactos en el error de pronóstico, se asignó un valor monetario a los productos. En este caso, se asignó un valor de \$1,000 a cada uno. Con este valor, se convirtió el error en piezas a un valor monetario. Para reducir el ruido de los errores positivos y negativos, se trabajó sobre el MSE. Sabiendo que este valor eleva al cuadrado el error de pronóstico, se multiplicó la raíz cuadrada del MSE por el valor monetario asignado. La siguiente tabla contiene el resultado de esta medición.

	Valor de producto	\$1,000
	Valor del error	Ahorro
Primera iteración	\$4,370,348.96	\$0.00
1	\$1,027,720.04	\$0.00
2	\$781,484.07	\$0.00
3	\$193,330.82	\$0.00
4	\$134,569.20	\$0.00
5	\$155,967.58	\$0.00
6	\$156,498.80	\$0.00
7	\$477,701.58	\$0.00
8	\$328,941.03	\$0.00
9	\$180,019.47	\$0.00
10	\$289,509.72	\$0.00
11	\$4,031.46	\$0.00
12	\$640,575.18	\$0.00

Se puede observar que el error en el pronóstico tiene valor de más de \$4.3 mdp durante el año.

Para hacer el ajuste, se buscó el valor de  $\alpha$  y  $\gamma$  que minimizaran el MSE obtenido para el año 6. Estos valores se generaron usando la función SOLVER de EXCEL, de manera análoga a la utilizada en la simulación para el año 5. La siguiente tabla muestra el valor de los nuevos factores de suavizamiento.

$\alpha$	0.420214473
$\gamma$	0.9999999
Actualización	

Con estos nuevos factores, se ajustaron los valores para el nivel y los índices temporales. Una vez obtenidos estos nuevos valores, se hizo el cálculo de la demanda destemporalizada y del nuevo pronóstico. La siguiente tabla muestra estos resultados.

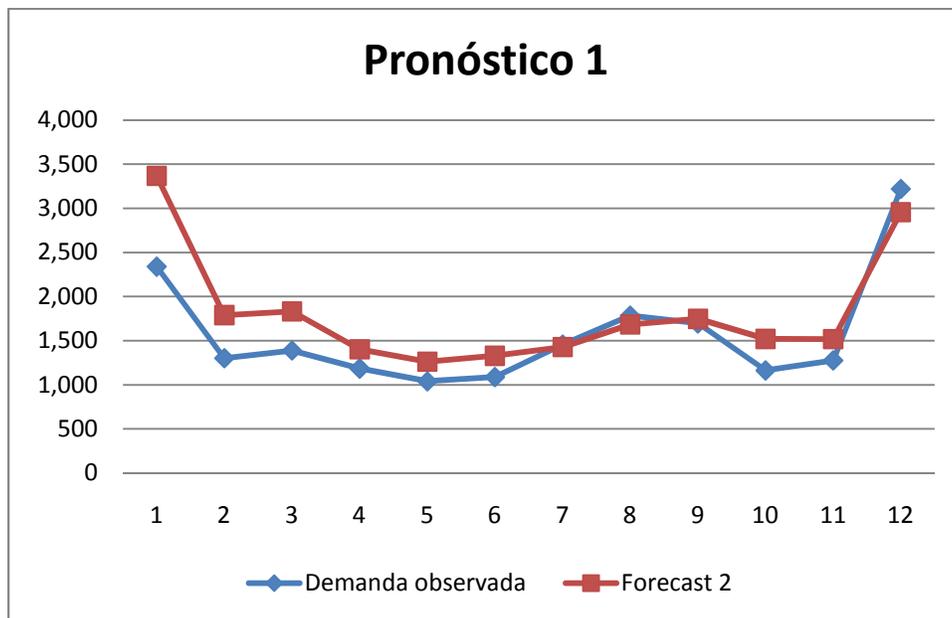
	Nivel a anterior	Indice de Temporalidad anterior	Demanda observada	Demanda Destemporalizada 2	Nivel a nuevo	Indice de Temporalidad observado	F nuevo	F normalizado	Periodo	Forecast 2
Primera iteración							11.012	12.000		
1	3,090.750	1.089	2,339	2,147.272	2,694.287	0.868	0.868	0.946		3,366.72
2	2,694.287	0.952	1,303	1,369.130	2,137.437	0.610	0.610	0.664	2,564	1,789.77
3	2,137.437	1.108	1,389	1,253.702	1,766.078	0.786	0.786	0.857	2,368	1,831.84
4	1,766.078	0.826	1,185	1,434.485	1,626.738	0.728	0.728	0.794	1,459	1,401.89
5	1,626.738	0.842	1,040	1,234.528	1,461.925	0.711	0.711	0.775	1,370	1,261.04
6	1,461.925	1.000	1,089	1,089.439	1,305.401	0.834	0.834	0.909	1,461	1,328.96
7	1,305.401	0.882	1,457	1,652.526	1,451.268	1.004	1.004	1.094	1,151	1,428.10
8	1,451.268	0.899	1,786	1,987.621	1,676.651	1.065	1.065	1.161	1,304	1,684.57
9	1,676.651	0.958	1,698	1,772.456	1,716.910	0.989	0.956	1.042	1,606	1,747.30
10	1,716.910	0.813	1,163	1,430.177	1,596.420	0.729	0.812	0.885	1,397	1,519.69
11	1,596.420	0.874	1,277	1,460.596	1,539.345	0.829	0.873	0.951	1,396	1,518.63
12	1,539.345	1.766	3,219	1,823.039	1,658.557	1.941	1.763	1.921	2,718	2,957.68

Una vez obtenido el nuevo pronóstico, se revisó contra la demanda real observada. Esto generó un nuevo error de pronóstico. De manera análoga, se calculó el MSE de la

nueva medición, con el fin de disminuir el ruido ingresado por los errores negativos y positivos. La siguiente tabla muestra el valor de los nuevos errores.

		Error de pronóstico	MSE	% Error
Primera iteración			1,910,066	
	1	1,028	1,056,208	30.5%
	2	487	236,945	27.2%
	3	443	196,108	24.2%
	4	217	47,040	15.5%
	5	221	48,857	17.5%
	6	240	57,580	18.1%
	7	-29	835	-2.0%
	8	-101	10,289	-6.0%
	9	50	2,478	2.8%
	10	356	126,974	23.4%
	11	242	58,442	15.9%
	12	-261	68,311	-8.8%

La siguiente gráfica muestra el comportamiento del nuevo pronóstico contra la demanda real observada.



Al comparar los errores originales contra los errores nuevos, se observó la siguiente relación entre estos.

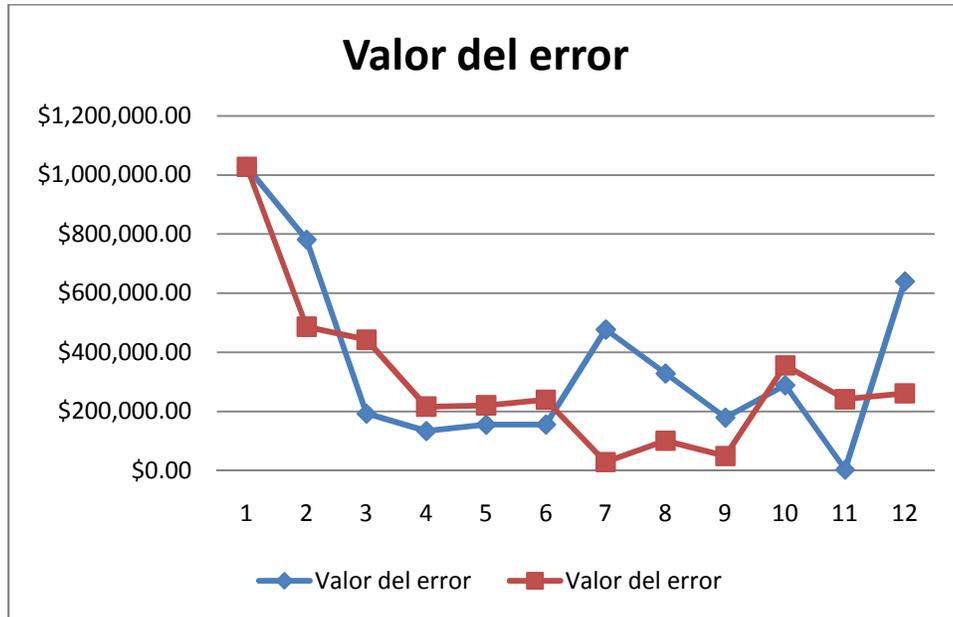


En la gráfica se observó que el error original es más inestable que el nuevo, ya que presenta mayores fluctuaciones a alza y a la baja. El nuevo error es más estable y presenta suavizamiento. Al obtener este nuevo error, se pudo hacer una mejor estimación de los requerimientos reales.

De manera análoga al cálculo original para el año 6, se asignó un valor monetario para los productos. Este valor también fue de \$1,000, con la finalidad de hacer comparables las mediciones. Para hacer la revisión, se contrastó el valor monetario del error original contra el valor del nuevo error. En donde el error original fue mayor, se consideró el cambio como un ahorro para la organización. La siguiente tabla muestra el valor del error nuevo y el ahorro obtenido.

	Valor de producto	\$1,000
	Valor del error	Ahorro
Primera iteración	\$3,674,767.36	\$1,480,476.72
1	\$1,027,720.04	\$0.00
2	\$486,769.90	\$294,714.17
3	\$442,840.38	\$0.00
4	\$216,886.19	\$0.00
5	\$221,036.67	\$0.00
6	\$239,957.61	\$0.00
7	\$28,902.52	\$448,799.06
8	\$101,433.36	\$227,507.67
9	\$49,775.74	\$130,243.73
10	\$356,333.69	\$0.00
11	\$241,748.17	\$0.00
12	\$261,363.10	\$379,212.08

En la siguiente gráfica se hizo una comparación de los valores monetarios de los errores.



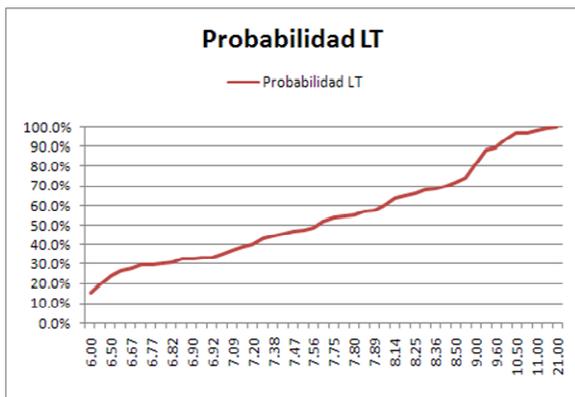
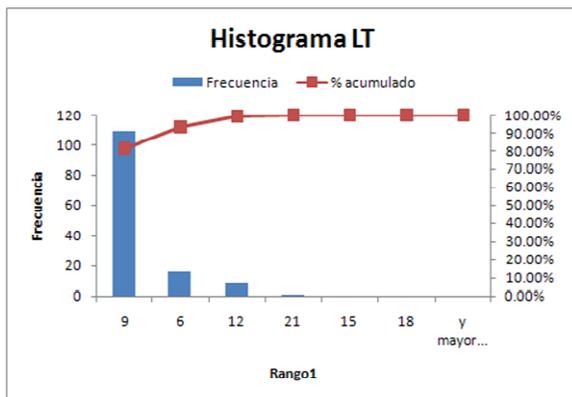
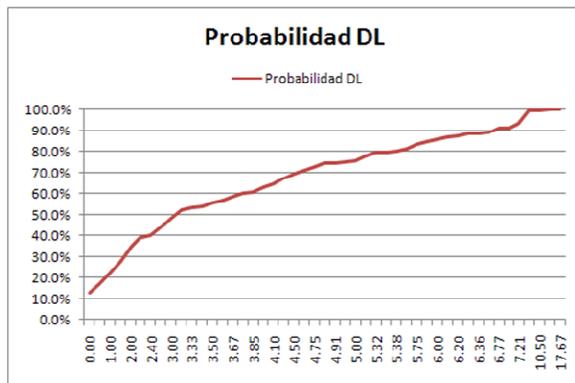
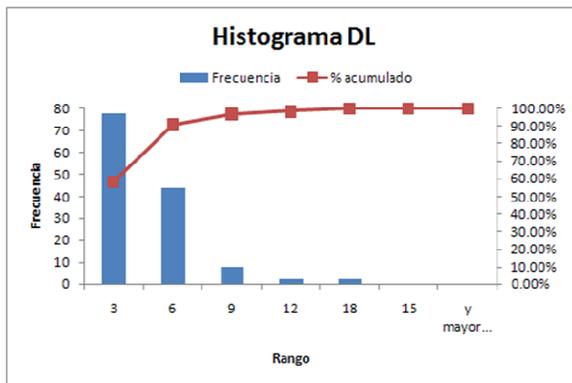
En ella se pudo observar que el valor monetario del error original, se mantiene por encima del nuevo error. Con esto se pudo estimar que la aplicación del modelo propuesto puede tener como consecuencia un ahorro significativo para la organización, debido a que se tuvo una mejor estimación de la demanda real para los periodos del año.

#### 4.6 Análisis de resultados

Los resultados anteriores, permitieron establecer las siguientes relaciones antes de la aplicación del estudio y después de la aplicación.

Con base en el estudio de la demanda en el tiempo y del tiempo de entrega de los artículos, las tablas de frecuencia mostraron el comportamiento. Con los que se generaron las gráficas de histograma y probabilidad para cada variable.

Rango	Frecuencia	% acumulado	Rango	Frecuencia	% acumulado	Rango1	Frecuencia	% acumulado	Rango1	Frecuencia	% acumulado
3	78	58.21%	3	78	58.21%	6	16	11.94%	9	109	81.34%
6	44	91.04%	6	44	91.04%	9	109	93.28%	6	16	93.28%
9	8	97.01%	9	8	97.01%	12	8	99.25%	12	8	99.25%
12	2	98.51%	12	2	98.51%	15	0	99.25%	21	1	100.00%
15	0	98.51%	18	2	100.00%	18	0	99.25%	15	0	100.00%
18	2	100.00%	15	0	100.00%	21	1	100.00%	18	0	100.00%
y mayor...	0	100.00%									

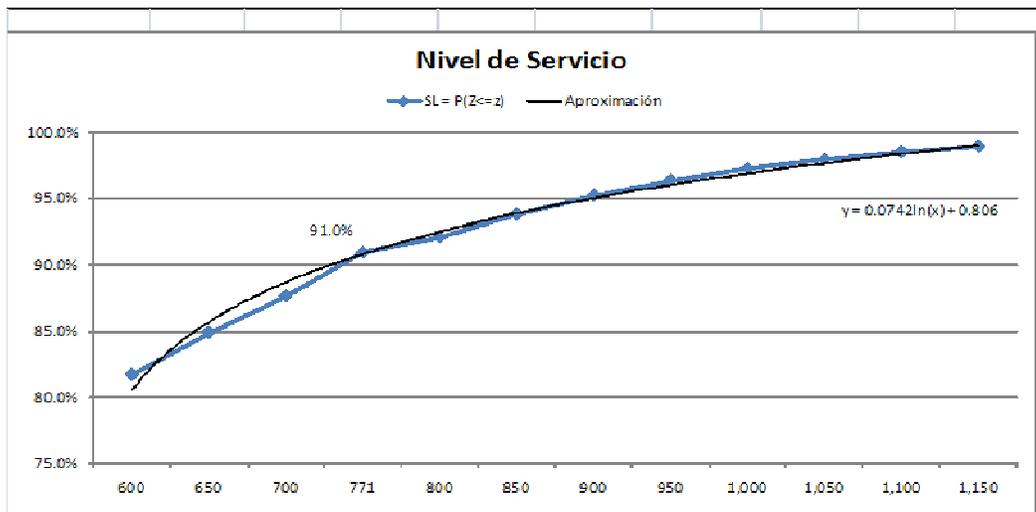


Con estos resultados se pudo establecer el nivel de servicio al que se ha estado trabajando:

Optimización de la disponibilidad de producto mediante el modelo de agregación de inventario en una empresa detallista

Nivel de servicio	$\mu_{DL}$	$\sigma_{DL}$	$\mu_{DT}$	$\sigma_{DT}$	$P(\text{Satisfacción})$	$z$							
Valor	242.30	394.59	7.60	1.58	91.0%	1.34							
				Valor Actual									
Nivel de servicio	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
$\mu_{DL}$	242	242	242	242	242	242	242	242	242	242	242	242	
$\sigma_{DL}$	395	395	395	395	395	395	395	395	395	395	395	395	
$\mu_{DT}$	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48	
$\sigma_{DT}$	1.58	1.58	1.58	1.58	1.58	1.58	1.58	1.58	1.58	1.58	1.58	1.58	
$\mu_{DT}$	7.60	7.60	7.60	7.60	7.60	7.60	7.60	7.60	7.60	7.60	7.60	7.60	
IKOP	600	650	700	771	800	850	900	950	1,000	1,050	1,100	1,150	
$z$	0.94	1.03	1.16	1.34	1.41	1.54	1.67	1.79	1.92	2.05	2.17	2.30	
SL	81.8%	84.9%	87.7%	91.0%	92.1%	93.8%	95.2%	96.4%	97.3%	98.0%	98.5%	98.9%	

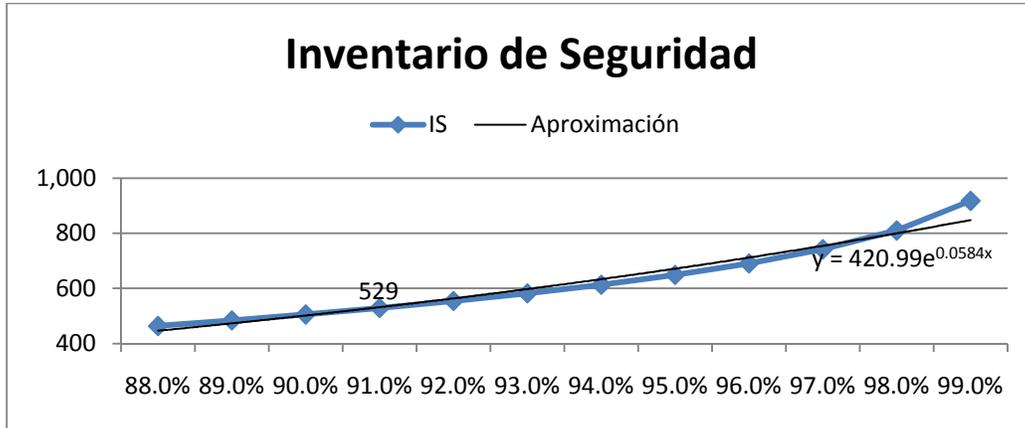
Además de simular el requerimiento necesario para aumentar el nivel de servicio a niveles superiores al 98%. Lo cual involucraría aumento en el requerimiento de inventario, teniendo impacto en los costos. Al graficar este requerimiento se pudo observar el crecimiento contra el nivel de servicio.



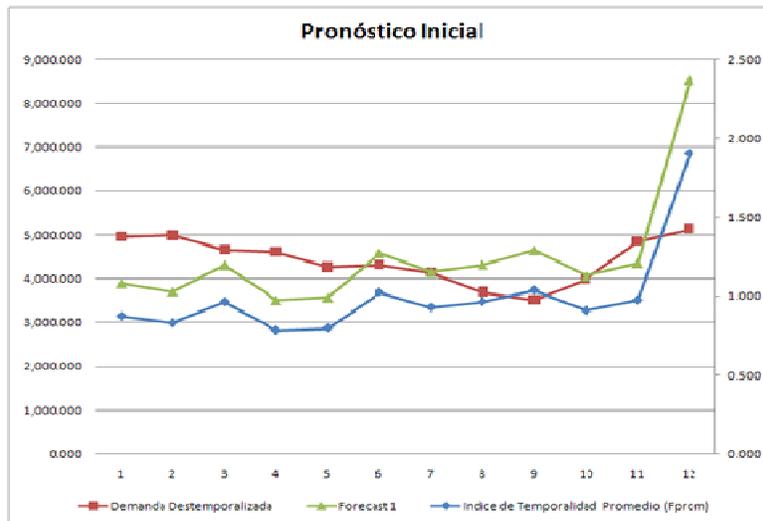
En cuanto al inventario de seguridad, fue posible establecer el nivel en el que se ha trabajado, además de simular el requerimiento al buscar el nivel de servicio.

				Valor Actual								
Inventario de seguridad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\mu_{DL}$	242	242	242	242	242	242	242	242	242	242	242	242
$\sigma_{DL}$	395	395	395	395	395	395	395	395	395	395	395	395
$\mu_{DT}$	1.58	1.58	1.58	1.58	1.58	1.58	1.58	1.58	1.58	1.58	1.58	1.58
$\sigma_{DT}$	7.60	7.60	7.60	7.60	7.60	7.60	7.60	7.60	7.60	7.60	7.60	7.60
SL = P(Z <= z)	88.0%	89.0%	90.0%	91.0%	92.0%	93.0%	94.0%	95.0%	96.0%	97.0%	98.0%	99.0%
$z$	1.17	1.23	1.28	1.34	1.40	1.46	1.52	1.58	1.65	1.71	1.77	1.83
IKOP	705	725	745	771	797	825	853	881	909	937	965	993
S	464	484	506	529	554	582	614	649	691	742	810	918

De manera análoga, la gráfica permitió revisar el crecimiento en requerimientos y costos que involucraría buscar un aumento del nivel de servicio.



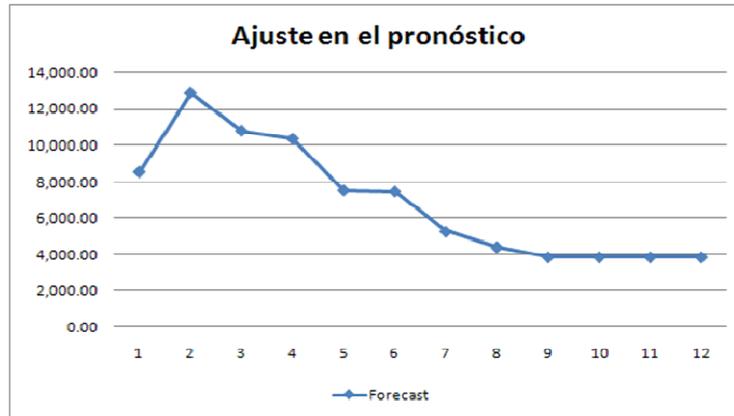
Utilizando el modelo de agregación de inventario y el modelo de suavizamiento exponencial, se generó el pronóstico inicial, identificando sus componentes:



Inicialmente, se utilizaron variables para el modelo, que debieron ser ajustadas para poder reducir la variabilidad del pronóstico:

$\alpha$	0.2	$\alpha$	0.927467832
$\gamma$	0.5	$\gamma$	1E-05

Observándose el siguiente ajuste:



Al medir el MSE de estos resultados, se observó que se validó el modelo al reducir la variabilidad de 28% a sólo 9%.

Antes de la aplicación:

Periodo	Forecast Actualizado	Demanda observada	Error de pronóstico	MSE	% Error
1	3,903	6,044	-2,141	4,584,780	-54.86%
2	4,058	4,620	-562	315,662	-13.84%
3	4,833	5,209	-376	141,442	-7.78%
4	3,990	2,999	991	981,664	24.83%
5	3,850	3,117	732	536,401	19.86%
6	4,851	2,720	2,131	4,457,178	43.70%
7	4,050	2,102	1,947	3,829,775	48.21%
8	3,874	1,918	1,956	3,827,851	50.50%
9	3,812	1,929	1,883	3,545,386	49.40%
10	3,368	1,322	2,046	4,266,898	60.98%
11	3,604	1,451	2,153	5,029,018	60.72%
12	7,342	3,658	3,684	13,572,028	50.18%
	<b>51,573</b>	<b>37,089</b>	<b>14,584</b>	<b>45,148,084</b>	<b>28.22%</b>

Después de la aplicación:

Periodo	Forecast Actualizado	Demanda observada	Error de pronóstico	MSE	% Error
1	3,903	6,044	-2,141	4,584,780	-54.86%
2	5,597	4,620	977	954,601	17.46%
3	5,450	5,209	241	58,225	4.43%
4	4,253	2,999	1,254	1,572,685	29.49%
5	3,145	3,117	28	783	0.89%
6	4,010	2,720	1,290	1,664,606	32.17%
7	2,547	2,102	445	198,222	17.48%
8	2,219	1,918	301	90,430	13.55%
9	2,087	1,929	158	25,069	7.59%
10	1,824	1,322	502	252,265	27.53%
11	1,956	1,451	505	254,633	25.81%
12	3,832	3,658	174	30,253	4.54%
	<b>40,884</b>	<b>37,089</b>	<b>3,735</b>	<b>9,686,693</b>	<b>9.15%</b>

En la aplicación sobre el año en producción, también se observó la disminución en el error de pronóstico.

Antes de la aplicación:

	Error de pronóstico	MSE	% Error
Primera iteración		<b>2,634,206</b>	
1	1,028	1,056,208	30.5%
2	781	610,717	37.5%
3	193	37,377	12.2%
4	-135	18,109	-12.8%
5	156	24,326	13.0%
6	156	24,492	12.6%
7	-478	228,199	-48.8%
8	-329	108,202	-22.6%
9	180	32,407	9.6%
10	290	83,816	19.9%
11	-4	16	-0.3%
12	-641	410,337	-24.8%

Después de la aplicación:

	Error de pronóstico	MSE	% Error
Primera iteración		<b>1,910,066</b>	
1	1,028	1,056,208	30.5%
2	487	236,945	27.2%
3	443	196,108	24.2%
4	217	47,040	15.5%
5	221	48,857	17.5%
6	240	57,580	18.1%
7	-29	835	-2.0%
8	-101	10,289	-6.0%
9	50	2,478	2.8%
10	356	126,974	23.4%
11	242	58,442	15.9%
12	-261	68,311	-8.8%

Con las siguientes variaciones en los errores observados:



Finalmente, se asignó un valor monetario hipotético a cada unidad para observar el impacto económico, con lo que se obtuvieron los siguientes resultados:

Antes de la aplicación:

	Valor de producto	\$1,000
	Valor del error	Ahorro
Primera iteración	\$4,370,348.96	\$0.00
1	\$1,027,720.04	\$0.00
2	\$781,484.07	\$0.00
3	\$193,330.82	\$0.00
4	\$134,569.20	\$0.00
5	\$155,967.58	\$0.00
6	\$156,498.80	\$0.00
7	\$477,701.58	\$0.00
8	\$328,941.03	\$0.00
9	\$180,019.47	\$0.00
10	\$289,509.72	\$0.00
11	\$4,031.46	\$0.00
12	\$640,575.18	\$0.00

Después de la aplicación:

	Valor de producto	\$1,000
	Valor del error	Ahorro
Primera iteración	\$3,674,767.36	\$1,480,476.72
1	\$1,027,720.04	\$0.00
2	\$486,769.90	\$294,714.17
3	\$442,840.38	\$0.00
4	\$216,886.19	\$0.00
5	\$221,036.67	\$0.00
6	\$239,957.61	\$0.00
7	\$28,902.52	\$448,799.06
8	\$101,433.36	\$227,507.67
9	\$49,775.74	\$130,243.73
10	\$356,333.69	\$0.00
11	\$241,748.17	\$0.00
12	\$261,363.10	\$379,212.08

En el siguiente capítulo se mostrarán las conclusiones sobre los resultados obtenidos.



## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La administración del inventario es de primera importancia en las organizaciones. El correcto manejo de este activo puede proporcionar grandes beneficios a lo largo de su estructura. Por otro lado, el no tenerlo puede resultar en excedentes o en faltantes de mercancía, lo cual se traducirá en pérdidas para el negocio.

Este impacto se extiende a lo largo de toda la cadena de abasto, es decir, desde el proveedor del proveedor, hasta la tienda detallista, la cual pondrá a disposición del cliente final un producto. A lo largo de toda la cadena fluyen varios aspectos, uno de ellos es la información y otro los costos. Cuando tenemos mecanismos que nos permiten tener mayor control sobre el inventario, como los pronósticos, podemos trasladar este conocimiento a los demás actores, con la finalidad de poder tomar decisiones a priori. Lo anterior será buscando nivelar los conocimientos sobre el consumidor y su probable demanda de productos.

Considerando lo anterior, en el presente estudio se abordó el problema de encontrar un mecanismo que permitiera aumentar la eficiencia en el control del inventario para artículos que representan problemas por su alto valor, volumen y problema de transporte. La aplicación de modelos de pronóstico para proyectar la demanda en el tiempo demostró ser una herramienta útil para mejorar la eficiencia del inventario. Con los resultados obtenidos se observa que es posible aumentar la disponibilidad de colchones para elevar el nivel de servicio al cliente. Esto se logró con un mejor pronóstico de demanda, logrado a través de la agregación de inventarios para reducir el error de buscarlo en forma particular para cada colchón. Al aumentar la visibilidad sobre la demanda futura, la planeación del inventario de seguridad permite la reducción de éste, al poder contar sólo con la cantidad necesaria para enfrentar variaciones en la demanda o fallas en el abasto.

En este estudio se aportó una base científica y sólida para la toma de decisiones. Con la aplicación de técnicas como los histogramas y las gráficas de frecuencia, se determinó el resultado que es más probable a ocurrir. Con esto, lo que se logra es mejorar la planeación ya que se puede anticipar un comportamiento. Con los datos históricos se puede estimar el comportamiento del inventario. Sin embargo, se tiene la limitante de ser una tarea ardua y que toma tiempo, por lo que se debe determinar un procedimiento que permita hacerlo de manera efectiva y eficiente. De esta manera se podrá dedicar más tiempo al seguimiento y medición de resultados.

Con base en los resultados del estudio, se responden las preguntas planteadas en la Descripción del Sistema de Interés.

¿Cómo evaluar un modelo alternativo de abasto?

Las alternativas deben evaluarse tomando como base los resultados históricos de la organización. Se recomienda que se haga la simulación del modelo alternativo sobre un periodo conocido en sus resultados. De esta manera se podrá contrastar el resultado en la simulación del modelo con los resultados reales.

¿Cómo garantizar la disponibilidad de producto en piso de venta?

Como se discutió en el capítulo de Pronósticos, una manera de garantizar la disponibilidad es contar con un pronóstico certero sobre la demanda. De esta manera se podrá anticipar qué acciones se requieren para contar con la mercancía en tiempo y forma. Para hacer frente a cambios inesperados en la demanda o en el proceso de distribución, se requiere contar con un inventario de seguridad. El control del pronóstico y la disminución del error, permitirá tener un inventario de seguridad controlado y no encarecer la cadena con inventario excesivo.

¿Es posible reducir la variabilidad del nivel de servicio y del inventario de seguridad?

De acuerdo a lo discutido en el capítulo de Nivel de servicio e inventario de seguridad, sí es posible disminuir la variabilidad presentada. Para lograrlo es necesario reducir el error del pronóstico. Con el modelo propuesto y utilizando las herramientas descritas en el capítulo de Pronósticos, se logró la reducción del error de pronóstico. Para tener una medida más precisa, es necesario utilizar métodos de medición como el error cuadrático medio (MSE).

¿Cómo implementar el modelo de agregación de inventario?

Para poder implementar el modelo, es necesario contar con datos históricos que permitan conocer el comportamiento de la demanda. Como se describió en el capítulo de Inventario y en Pronósticos, contar con estimaciones agrupadas es más certero que buscar hacer una para cada artículo en cada tienda. Para esto es necesario establecer el nivel de pronóstico al que trabajará la organización, esto se discute en la sección de Jerarquía de Pronósticos. Una vez que se cuente con los datos y se haya decidido el nivel a trabajar se deben hacer todos los análisis mostrados en el estudio. El seguimiento a los resultados tras la aplicación es importante, ya que se debe tener el comparativo y el nuevo dato de demanda para hacer las actualizaciones necesarias al pronóstico.

¿Es pertinente implementar el modelo propuesto en el sistema?

La conclusión es que sí es pertinente la aplicación del modelo. Esto se concluye con base en los resultados obtenidos. Los resultados más importantes del estudio fueron:

- Valores para la demanda durante el tiempo de entrega.
- Valores para el tiempo de arribo de mercancía.
- Nivel de servicio.

- Inventario de seguridad.
- Pronósticos agregados de demanda para la administración del inventario.
- Medición del error cuadrático medio.

Los métodos gráficos apoyaron la decisión, ya que dieron una visión rápida de los resultados esperados, bajo un cierto comportamiento. Esto se pudo ver en las gráficas obtenidas para el Nivel de Servicio y del Inventario de Seguridad.

Con el uso de estos métodos, se tomarán decisiones con mayor certidumbre sobre el control del inventario, ya que proporcionan una base científica. La elaboración de pronósticos y el uso del método de agregación permiten reforzar la planeación. Esto debido a que estimar la demanda con una mayor certidumbre es necesario para poder establecer planes en las organizaciones y lograr que la administración de la cadena de abasto funcione de manera eficiente.

En el estudio se utilizaron los datos históricos de la categoría para estimar el comportamiento de la demanda. Primero, se hizo la simulación sobre un año conocido. Lo anterior permitió definir si el método propuesto reducía la incertidumbre o no. El resultado obtenido fue una disminución importante en el MSE de los pronósticos contra las observaciones reales. Con lo que se observó que la agregación del pronóstico a nivel mensual y la aplicación del modelo de suavizamiento son factible para este tipo de problemas. La reducción del MSE de 28% a 9%, valida que es conveniente utilizarlo.

Una vez verificada la pertinencia de aplicar el modelo de agregación y el método de suavizamiento, se generó el pronóstico para el año 6 y se le dio seguimiento a los resultados. Esta simulación, arrojó una mayor certidumbre en el pronóstico y un ahorro económico de casi \$1.5 mdp. Esta cantidad puede financiar uno o más proyectos de la organización.

Con base en los resultados obtenidos en el estudio, se recomienda a las organizaciones los siguientes puntos:

1. Involucrar a todos los actores de la cadena de abasto en el proceso de planeación.
2. Establecer mecanismos y procedimientos para la planeación.
3. Identificar los artículos que le representan la mayor importancia, y dedicar una cantidad de recursos mayor a éstos.
4. Usar herramientas que permitan estimar el comportamiento del inventario, con el fin de sustentar las decisiones.

5. Reducir el requerimiento de inventario de seguridad en los productos.
6. Establecer el nivel de servicio que se está dispuesto a tener.
7. Aplicar métodos que permitan reducir la incertidumbre en los pronósticos.
8. Disminuir el error del pronóstico s través del modelo de agregación de inventario.
9. Aplicar un método para el control de inventario que se apoye en la agregación del pronóstico, ya sea centralización virtual, especialización, por componentes comunes o sustitución de producto.
10. Establecer procesos que eficiente el uso de recursos y el tiempo asignado al estudio de los registros históricos.

De llevarse a cabo estas acciones se proporcionará una mayor certeza a las organizaciones para la toma de decisiones, lograr los objetivos de una manera más eficiente y reducir sus costos.



## Bibliografía y referencias

### Sitios Web

- 1 Retail Industry Leaders Association  
www.rila.org
- 2 Supply Chain Academy  
www.supplychainacademy.com
- 3 Price Water House Coopers México  
<http://www.pwc.com/mx/es/retos-productos-consumo/cadena-abastecimiento.jhtml>

### Revistas y Artículos

- 4 Deloitte Consulting  
2007, “La Naturaleza Dinámica de la Industria Detallista: Sembrando las semillas para un crecimiento sustentable”. México.
- 5 Expansión  
2008, “Las empresas más importantes de México”. Ed. Grupo Expansión. Junio 23, 2008. Año XXXIX Num. 993.

### Libros

- 6 Anupindi, Ravi  
1999, “Managing business process flows”. Ed. Prentice Hall. EEUU.
- 7 Balluo, Ronald  
2004, “Logística, Administración de la Cadena de Abasto”. Ed. Prentice Hall. 5ta ed. México.
- 8 Chase, Richard  
2001, “Operations Management for Competitive Advantage”. Ed. McGraw-Hill. 9a ed. Sección IV – “Planning and Controlling the Supply Chain. EEUU.
- 9 Christopher, Martin  
1985, “The Strategy of Distribution Management”. Londres
- 10 Davis, Mark  
1990, “An Analysis of Customer Satisfaction”. Journal of Operations Management, Vol. 9. EEUU.
- 11 Fitzsimmons, James  
2001, “Service Management: Operations, Strategy, and Information Technology” Ed. McGraw-Hill. 3a ed. Sección III – “Managing Service Operations”. EEUU.
- 12 Hillier, Frederick  
2002, “Investigación de Operaciones”. Ed. McGraw-Hill. 7ª ed. Cap. 19 “Teoría de inventarios” y Cap. 20 “Pronósticos”. México.
- 13 Sipper, Daniel  
1998, “Planeación y Control de la Producción”. Ed. Mc Graw Hill. México.

Agregación de inventario  
Pronóstico Inicialización de índices  
Categoría  
Elaboró

Históricos

Nivel a

Muestra

Periodo	1	2	3
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			

Indice de Temporalidad (F)

1	2	3

Forecast

Σforecast

Indice de Temporalidad Promedio (Fprom) 0.000	Demanda Destemporalizada	Forecast 1





Agregación de inventario  
Nivel de servicio  
Categoría  
Elaboró

		Periodo										
Tienda	Variable	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Promedio
1	DL											
	LT											
	Existencia											
	Agotado											
2	DL											
	LT											
	Existencia											
	Agotado											
3	DL											
	LT											
	Existencia											
	Agotado											
4	DL											
	LT											
	Existencia											
	Agotado											
5	DL											
	LT											
	Existencia											
	Agotado											

## Apéndice A

### TEORÍA DE PRONÓSTICOS

#### ENTRADAS, TÉCNICAS Y CONSIDERACIONES

Las organizaciones deben tomar en cuenta varios factores para poder llegar a un plan de demanda preciso; con base en estos resultados, se podrán adoptar las técnicas de pronóstico adecuadas. La siguiente figura muestra algunos de estos elementos que se presentan en la industria detallista y su relación con el plan de demanda.

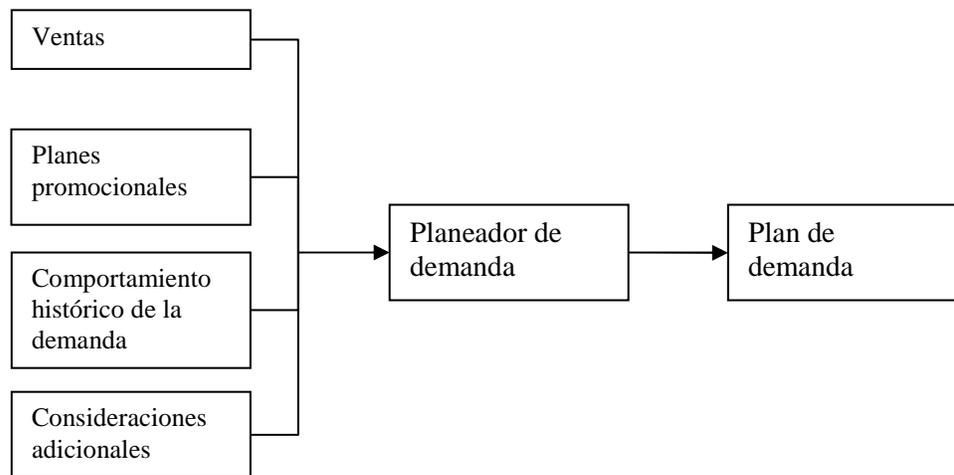


Figura 1 Elementos que conforman el Plan de demanda. Supply Chain Academy.

#### VENTAS Y PROMOCIONES

En la industria detallista, se tienen promociones durante todo el año. Cada promoción varía de acuerdo a la temporalidad de los artículos y de la estrategia comercial. Sin embargo, el planeador de la demanda debe tener en cuenta qué efectos en la venta son por la demanda natural de los clientes y cuáles son afectados por una promoción.

Algunas promociones son:

- **Cupones**  
Se adjuntan cupones que dan descuento en la próxima compra o en otros productos.
- **Compra uno y lleva otro**  
Cuando se adquiere un producto, se da otro igual o similar en forma gratuita.

- **Rebates por correo**

Se establecen durante un periodo y se solicita al cliente el envío de la información para hacer un reembolso sobre la compra.

- **Mercancía adicional en el empaque**

Se adjuntan otros artículos al comprar uno en particular.

- **Cambios de modelo**

Algunas compañías dan incentivos cuando van a sacar un modelo del mercado.

- **Descuentos por cantidad**

Se da descuento al cliente cuando compra mayor volumen de un producto. Este tipo de promociones genera una fuerte demanda, por lo que si no se pronostica bien, se puede caer en problemas de agotados.

## COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DE LA DEMANDA

Las organizaciones suelen utilizar datos sobre el histórico de las ventas como base de los pronósticos de demanda.

- **Embarques**

Muchas organizaciones utilizan los embarques que se han generado hacia los clientes para establecer el pronóstico de demanda. Esta acción la hace cuando no se cuenta con la información precisa sobre las órdenes de compra que han generado los clientes.

- **Órdenes**

Las órdenes establecidas por los clientes dan mejor información sobre la demanda real que se ha presentado.

- **Punto de venta**

Los datos de la demanda generada en el punto de venta son más precisos, ya que se están recopilando en tiempo real y se puede obtener retroalimentación de los clientes.

## CONSIDERACIONES ADICIONALES

Las ventas de algunos productos se pueden ver influenciadas por factores externos. Las organizaciones deben buscar la manera de modelar estas variaciones y efectos para poder hacer un pronóstico más preciso. Para muchos artículos las ventas suben o bajan conforme para el año. Por ejemplo, durante tiempo de frío aumenta la venta de suéteres,

durante las vacaciones aumentan las maletas, etcétera. Se pueden utilizar técnicas estadísticas para estimar el pronóstico de venta de los productos.

Algunas consideraciones adicionales que se deben tomar en cuenta son:

- **Nuevos productos**

Cuando se tienen artículos nuevos, no se cuenta con información histórica de ventas. Para poder hacer pronósticos sobre estos artículos se utilizan artículos similares. Cuando se tienen nuevos artículos, otros son desplazados. Al periodo en que un cierto producto se encuentra en el mercado, se le llama ciclo de vida del producto.

- **Productos sustitutos**

Estos productos son los que pueden sustituir la demanda de otro. Se ofrecen como alternativas al cliente cuando no existe uno en particular. El efecto que puedan tener estos productos sobre sus similares debe ser tomado en cuenta al hacer el pronóstico de demanda. Un producto sustituto bajará la demanda del otro.

- **Productos complementarios**

Estos productos son los que complementan el uso o adquisición de otro. Se ofrecen a los clientes para generar ventas cruzadas y así aumentar la rotación. El efecto que tienen sobre sus productos complementarios es que al aumentar la demanda de uno, se aumenta la demanda del otro.

- **Entradas colaborativas**

Este esquema se utiliza en las empresas para llevar a cabo la elaboración del pronóstico y la planeación en conjunto con sus socios de negocio. Este enfoque elimina las ineficiencias que pueda sufrir el modelo por contar con información sesgada, dada por sólo una de las partes.

- **Posponer análisis**

Este tipo de análisis se debe considerar, ya que muchas de las promociones que se llevan a cabo no tienen impacto inmediato en la venta. Tras una promoción o acción específica para la venta, se debe esperar un tiempo para revisar cómo es que la demanda cambió. Se debe considerar al hacer el pronóstico si las ventas actuales están siendo influenciadas por acciones pasadas.

## PRONÓSTICO DE DEMANDA Y ERROR DE PRONÓSTICO

De acuerdo con las fuentes “Investigación de Operaciones” y “Operation Management for Competitive Advantage” (Chase, 2001, 8), la demanda presenta oscilaciones y variaciones durante el tiempo. Aunque algunas variaciones son sistemáticas (por tendencias o temporalidades), muchas de ellas son resultado de factores aleatorios no previstos, ni explicados, los cuales son llamados **ruido**. Pronosticar es una forma de “predecir” el comportamiento futuro, como una forma de combatir este llamado ruido. Es por eso que las empresas pronostican varios factores como la demanda del consumidor, las ventas, los requerimientos de mercancía, las existencias, etcétera.

### Métodos de pronóstico

Existen varios métodos para pronosticar, los cuales están clasificados como *subjetivos* y *objetivos*. Los primeros están basados en juicios y experiencia, mientras que los segundos se basan en análisis de datos. Por el lado de los métodos objetivos tenemos que se tienen dos principales, los causales y el análisis de las series de tiempo.

Los métodos causales asumen que existen factores adicionales al análisis numérico que influyen en la demanda del consumidor, como cambios de precio. El análisis de series de tiempo se basa en datos pasados. Los métodos objetivos buscan filtrar el ruido y estimar el efecto de los componentes sistemáticos como las tendencias y los comportamientos asociados a la temporalidad, o bien del impacto de efectos como los cambios de precio.

Se deben tener en cuenta algunos puntos, enumerados en “*Managing Business Process Flow*” (Anapundi, 1999, 6):

1. El pronóstico usualmente está equivocado: aun cuando se tenga un pronóstico que estime las variaciones sistemáticas del comportamiento de la demanda, la presencia del ruido aleatorio que no se puede ni prever ni explicar, nos llevará a la incertidumbre. Por lo que el impacto de las decisiones hechas en pronósticos puede ser incurrir en altos costos o en un inadecuado servicio.
2. El pronóstico deberá estar acompañado de una medición del error de pronóstico: esta medición califica el grado de confianza que puede tener el administrador en el pronóstico. Las decisiones deben contemplar esta medición, a mayor error del pronóstico, mayor riesgo de incurrir en agotados de mercancía o en excedentes.
3. Los pronósticos agregados son más certeros que pronósticos individuales: pronosticar una categoría como suéteres por color, es menos confiable que pronosticar la demanda de todos los suéteres. Intuitivamente, sabemos que la agregación reducirá variabilidad, dado que reducirá la variabilidad relativa a la demanda media de la agregación. Lo anterior, debido a que las demandas altas se cancelan con las demandas bajas de los productos individuales,

dando como resultado un comportamiento más estable. Esto implica un menor nivel de inventario de seguridad al agregar el pronóstico. Esto nos lleva al principio de reducción de variabilidad e inventario de seguridad al agrupar (*pooling*) y centralizar inventarios.

Los pronósticos de largo alcance son menos ciertos que los inventarios de corto alcance: de forma intuitiva se sabe que los eventos que se presentarán en un periodo largo en el futuro son más complicados de predecir que los que sucederán en un periodo más inmediato. Mientras esté más cercano el tiempo de demanda, se tendrá mayor cantidad de información para la toma de decisiones.

## **PROCESO DE PLANEACIÓN DE LA DEMANDA**

La meta de la planeación es usar y confiar en los procesos generados, así como minimizar cambios manuales al proceso. Esto asegura que la organización maximice el valor de sus inversiones en las iniciativas de la cadena de abasto.

Una forma de medir qué tanto se afecta la planeación original es medir la cantidad de cambios manuales que se hacen al pasar el tiempo. Se utilizan para establecer el nivel de ocurrencias de los cambios, a qué nivel se están haciendo y qué áreas se ven afectadas durante el proceso de planeación.

Si se detecta que se hacen cambios significativos, indicará que hay situaciones en el proceso, en la organización o en la capacitación que deben ser resueltas.

## **MEDICIONES ORIENTADAS A LA EFECTIVIDAD**

Las organizaciones se apoyan en la planeación de la demanda para poder mejorar la efectividad de la cadena de abasto. Para esto, se mide la exactitud del pronóstico, buscando que sea lo más alto posible. De esta manera se busca que el plan de demanda sea efectivo.

La exactitud del pronóstico y el error del pronóstico, son elementos clave para asegurar la disponibilidad de producto, el nivel de servicio al cliente, así como controlar costos y niveles de inventario. Junto con la medición del error de pronóstico, las organizaciones deben identificar la inclinación del pronóstico. La inclinación es la tendencia que muestra el pronóstico a estar fuera de rango. Cuando se presenta, es un indicativo de que se tiene que mejorar el ingreso de datos o todo el proceso. Esto usualmente sucede cuando es forzado el pronóstico, ya sea para llegar a metas de venta, inventarios o cualquier otro objetivo.

De acuerdo a la Academia de la Cadena de Abasto (Supply Chain Academy,<sup>2</sup>), se cuenta distintos tipos de métricas sobre el pronóstico, para este caso se analizarán los siguientes:

## Porcentaje del error medio absoluto y Porcentaje ponderado del error medio absoluto ponderado

Una medición común entre las organizaciones es el porcentaje del error medio absoluto, o MAPE por sus siglas en inglés (mean absolute percent error). El MAPE es un método sencillo de aplicar y relacionar con los objetivos de la organización. Además, es aplicable a un producto en particular o a un grupo de productos, con la finalidad de establecer la efectividad del pronóstico y ubicar dónde es necesario hacer las correcciones.

$$\frac{\sum |\text{Pronóstico de demanda} - \text{Demanda Real}|}{\sum \text{Pronóstico de demanda}}$$

Ecuación 1 MAPE

La desventaja que llega a presentar el modelo, es que a todos los errores se les da el mismo peso sobre el error total. Es decir, los errores pequeños y los errores grandes de los diferentes artículos afectan el resultado final.

Para corregir esto, se puede utilizar el porcentaje ponderado de error medio absoluto o WMAPE por sus siglas en inglés (weight mean absolute percent error). Se puede utilizar el costo o la ganancia que deja cada producto para ponderar el peso de que se cometa el error en cada uno. Utilizar WMAPE, también tiene la ventaja de correlacionarse con las necesidades del inventario de seguridad.

$$\frac{\sum \text{“peso”} * |\text{Pronóstico de demanda} - \text{Demanda Real}|}{\sum \text{“peso”} * \text{Pronóstico de demanda}}$$

Ecuación 2 WMAPE

## Porcentaje de aciertos y fallas

El propósito de la medición del porcentaje de aciertos y fallas es establecer la exactitud de pronóstico antes de cualquier intervención manual. Mide el porcentaje de aciertos contra el número total de SKU. Esto se logra a través de:

- Comparar el error de pronóstico contra un nivel de tolerancia aceptable.
- Midiendo la exactitud del pronóstico contra la demanda real y agregando la demanda de todos los SKU's de una clase.

- Clasificar los SKU's de acuerdo a la clasificación ABC. Cada clase tendrá un nivel de tolerancia aceptable. Se registrarán todos los que estén dentro de la tolerancia como un acierto.

$$\frac{|\text{Pronóstico de demanda} - \text{Demanda Real}|}{\text{Pronóstico de demanda}} \%$$

<p>Si <math>\text{MAPE} &lt; \text{a la tolerancia } T</math>, entonces será un acierto, sino será una falla</p> <p>Tolerancia aceptable: A: 10%    B: 25%    C: 35%</p> <p>Exactitud: <math>\frac{\sum \text{Aciertos}}{N} \%</math> (calculado para cada clase)</p>	<p>Ejemplo MAPE</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Clase</th> <th>MAPE</th> <th>H/M</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>5.8 %</td> <td>H</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>7.0%</td> <td>H</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>15 %</td> <td>M</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>4.5%</td> <td>H</td> </tr> </tbody> </table> <p>Exactitud = <math>\frac{3}{4} = 75\%</math></p>	Clase	MAPE	H/M	A	5.8 %	H	A	7.0%	H	A	15 %	M	A	4.5%	H
Clase	MAPE	H/M														
A	5.8 %	H														
A	7.0%	H														
A	15 %	M														
A	4.5%	H														

Tabla 1 Medición de errores. Elaboración propia.

## TÉCNICAS Y MODELOS

Algunas de las técnicas para la elaboración de pronósticos son:

- Métodos cualitativos

En estos métodos se utiliza la experiencia, conocimiento y “*feeling*” del planeador de la demanda. Este conocimiento empírico se basa en el resultado de las promociones, factores causales y pronósticos manuales. Chase (Chase, 2001, 8), en su libro “*Operations Management for Competitive Advantage*”, comenta los siguientes métodos:

- Grass Roots. El cual se basa es juntar la información de la gente que tiene el último eslabón, en el caso de la industria detallista sería preguntar a la gente de tienda el pronóstico.
- Investigación de mercado. Se hacen encuestas a las personas sobre algún producto o servicio.
- Panel de consenso. Se hacen reuniones abiertas con los involucrados para realizar el pronóstico.
- Método Delphi. Se consulta a un grupo de expertos, luego un moderador hace una nueva consulta con el resultado obtenido y vuelve a consultar a expertos.

- Métodos cuantitativos

Estos métodos involucran métodos estadísticos para pronosticar la demanda de los clientes. En este estudio se usaron modelos cuantitativos, por lo que a partir de esta sección se estudiarán éstos.

## **MODELOS DE INVENTARIO NO ESTACIONARIOS**

La predicción sobre la demanda que se presentará en ciertas etapas del año es de vital importancia para las organizaciones. Establecer estos pronósticos cobra especial importancia cuando tenemos revisiones periódicas o cuando los lead time's son significativamente altos para el proceso. Siendo que se debe considerar el tiempo de arribo más el tiempo de la revisión.

Utilizar técnicas matemáticas y estadísticas para inicializar el pronóstico y ajustarlo con el tiempo, hace que el desempeño de la Cadena de Abasto se vuelva más eficiente. Estos modelos se enfocan en considerar que existe una tendencia (de crecimiento o decremento) o temporalidad en la demanda de productos, por lo que se llaman no estacionarios.

Las tendencias se pueden generar por factores, ya sean internos o externos a la compañía, que hacen que aumente o disminuya la demanda. Una temporalidad se puede generar por el clima, festividades o inducidas por promociones cíclicas. Para poder llevar a cabo el análisis de estos modelos, se requieren datos históricos.

El siguiente diagrama esquematiza la relación entre los elementos de entrada y salida para la generación del pronóstico:

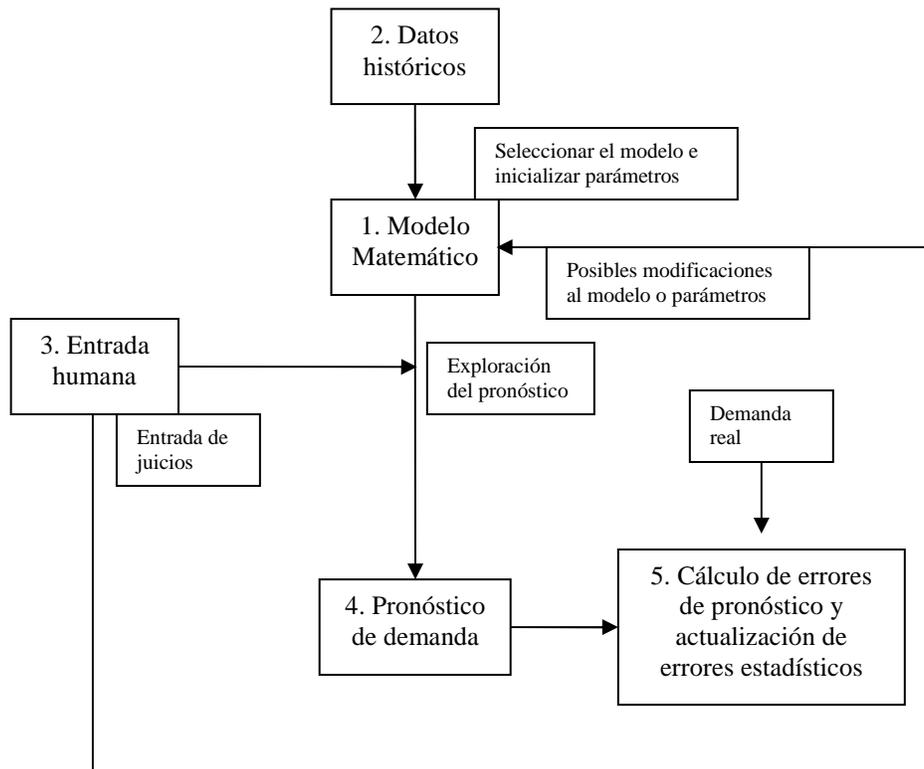


Figura 2 Elementos de inventario no estacional. Elaboración propia.

### Modelos para Pronósticos

El modelo de pronóstico utiliza una representación matemática de la demanda como una función del tiempo. Hay tres etapas básicas al utilizar un modelo matemático para estimar la demanda.

1. Elegir un modelo matemático apropiado.
2. Elegir los valores para los parámetros del modelo.
3. Utilizar el modelo para obtener pronósticos para estimar la demanda dentro de un periodo de tiempo determinado.

Para los modelos no estacionarios se tendrá la siguiente relación:

Si  $x_t$  es la demanda en el periodo  $t$ , la representación matemática de la tendencia o la estacionalidad será:

$$x_t = a + bt + n_t$$

donde:

**a** es la componente que no depende de  $t$ .

$b$  es la tendencia que se observa, tampoco depende de  $t$ .

$n_t$  es el ruido aleatorio asociado en el periodo  $t$ , se asume que es 0 en promedio.

## Uso de modelos de pronóstico

### Tendencia

La demanda promedio, o nivel, que se presenta en un periodo  $t$ , se puede representar como  $a + bt$ . En la que el parámetro  $a$  representa el nivel en el periodo 0 y  $b$  es la pendiente de la recta, la cual indica qué tan rápido varía el nivel conforme pasa el tiempo.

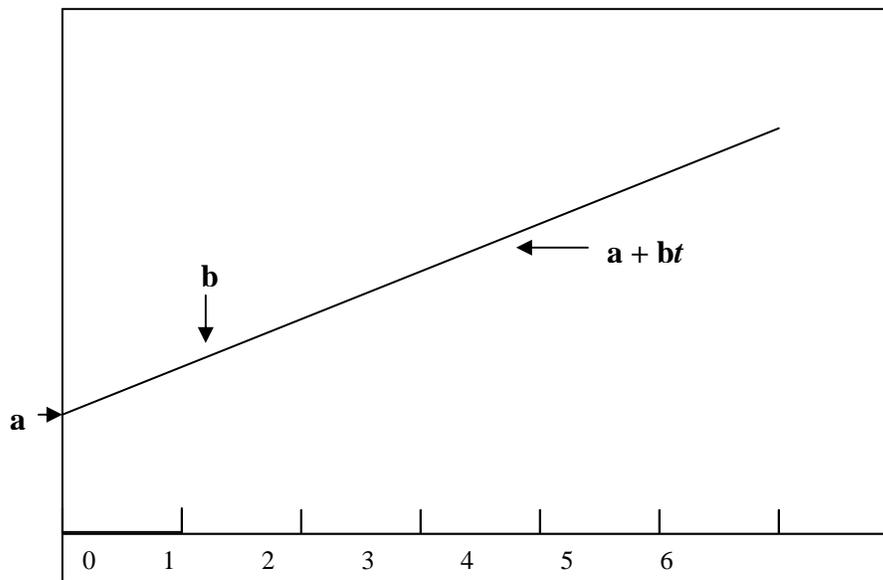


Figura 3 Modelo con tendencia. Supply Chain Academy.

De esta relación se observa que incrementar o decrecer  $a$  dará como resultado una familia de rectas paralelas. Por otro lado, incrementar o decrecer  $b$  hará que la recta sea más o menos inclinada con respecto a su ordenada al origen.

### Temporalidad

El modelo para los pronósticos que presentan una temporalidad es el siguiente:

$$x_t = a + F_t + n_t$$

donde:

$a$  es el nivel que no depende de  $t$ .

$F_t$  es el índice de temporalidad para el periodo  $t$ .

$n_t$  es el ruido aleatorio en el periodo  $t$ , se asume que es 0 en promedio.

En esta relación se observa que el efecto de la temporalidad es multiplicativo con el nivel. También existe un modelo en el que se genera un efecto aditivo,  $a + F_t$ . Si existen  $P$  periodos en la temporada, se tendrá este número de  $F_t$ 's, uno para cada periodo. Considerando la aditividad de los  $F_t$ 's índices de la temporada, a será el nivel promedio a considerar para el periodo.

La siguiente figura muestra comportamientos con y sin tendencia. En la figura superior, se tiene una serie de datos que muestran una tendencia ascendente conforme pasa el tiempo. En la figura inferior, se muestra un comportamiento que no tiene tendencia clara. Esto se puede observar en los valles y crestas que presenta la gráfica.

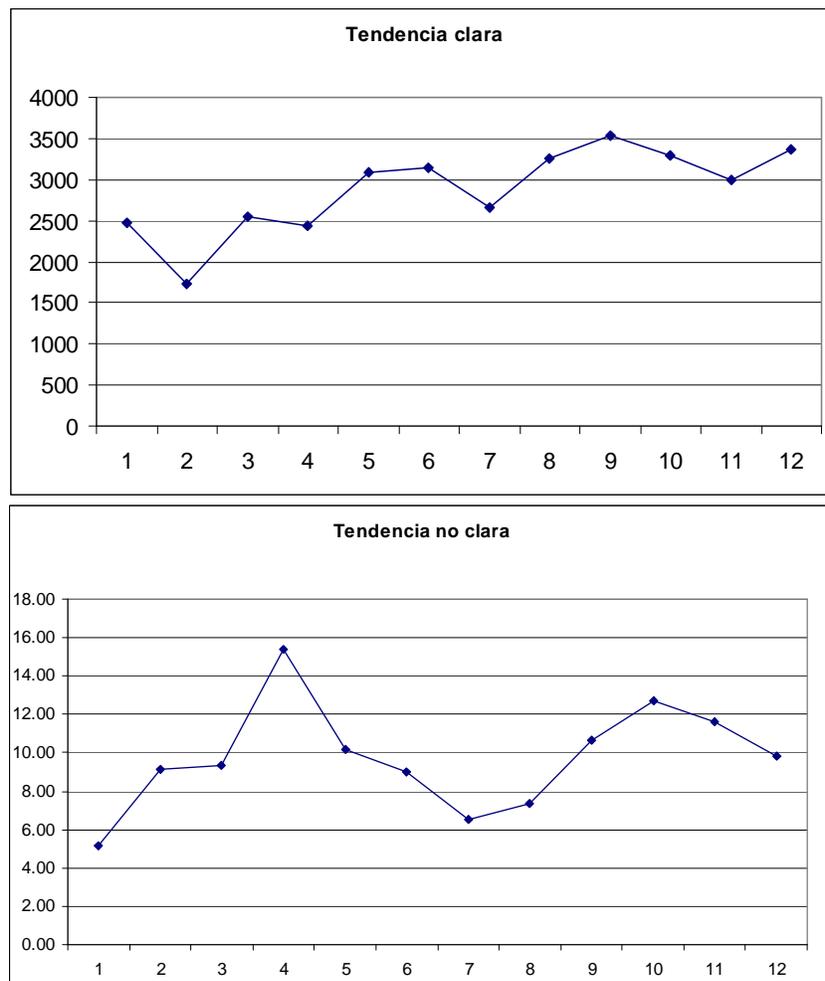


Figura 4 Comportamientos buscando tendencia. Elaboración propia.

## TÉCNICAS PARA MODELAR PRONÓSTICOS

### Regresión Lineal

Este modelo sirve para observar la tendencia que se presenta en el comportamiento de un producto. Como se ha mencionado, primero se debe determinar la conveniencia de establecer el modelo, luego inicializar los parámetros  $a$  y  $b$ , lo cuales serán obtenidos a través del proceso de regresión lineal.

### Modelo matemático

El modelo de tendencia tiene el siguiente modelo matemático:

$$x_t = a + bt + n_t$$

La curva resultante es una línea recta, mas, al considerar el ruido aleatorio, los datos históricos que se usen no estarán todos dentro de los puntos de la recta. Sin embargo, una línea recta será una buena aproximación a todos los puntos obtenidos a través del tiempo. La efectividad del modelo dependerá de qué tan bien se hayan elegido los parámetros  $a$  y  $b$ .

### Inicialización y actualización de los parámetros

Este modelo lo que buscará es reducir la distancia, o error, entre todos los puntos de los datos históricos obtenidos. En otras palabras, buscará la recta definida por los parámetros  $a$  y  $b$ , que reduzca el error entre el valor de la recta y el valor real obtenido. Lograr esto, nos llevará a obtener la siguiente suma:

$$S = [x_1 - (a + b)]^2 + [x_2 - (a + b)]^2 + [x_3 - (a + b)]^2 + \dots + [x_N - (a + b)]^2$$

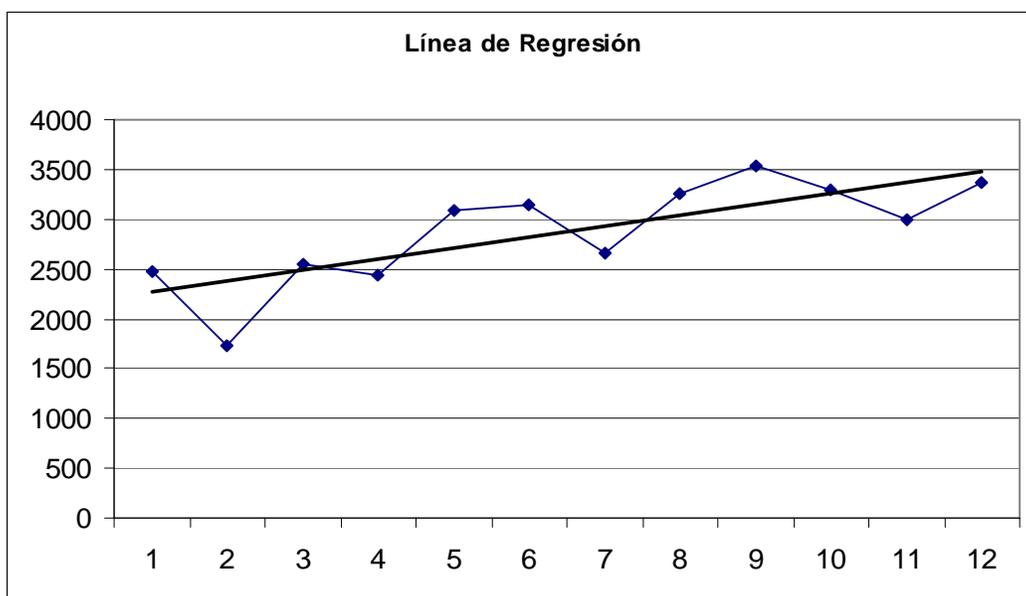


Figura 5 Regresión a una recta. Elaboración propia.

Para obtener los parámetros  $a$  y  $b$ , se requieren hacer cálculos matemáticos. Las relaciones necesarias para su obtención son las siguientes:

$$b^* = \frac{\sum_{t=1}^N tx_t - \frac{(N+1)}{2} \sum_{t=1}^N x_t}{N(N^2-1)/12}$$

$$a^* = \frac{\sum_{t=1}^N x_t - (b^*)(N+1)}{N}$$

### Ecuación 3 Cálculo de los puntos a y b de la recta

Si con el tiempo se tienen más datos y es complicada su inclusión en la recta obtenida, lo que se recomienda es eliminar los datos más antiguos e incluir los más recientes. De esta manera se puede dar continuidad al estudio de la recta e ir la ajustando a las tendencias más recientes. El movimiento de los periodos se puede hacer conforme a la teoría de los promedios móviles. Adicionalmente, se debe considerar que  $a^*$  y  $b^*$  se deben estar actualizando, por lo que  $N$  puede no ser muy grande, buscando hacer el estudio con números más recientes. Por el contrario, si  $a^*$  y  $b^*$  no cambiarán en un largo periodo de tiempo, se puede elegir una  $N$  grande.

### Uso del modelo de pronóstico

Una vez que se obtuvieron los parámetros  $a^*$  y  $b^*$ , se puede re-escribir la relación como:

$$x^*_t = a^* + b^*t$$

Si se utilizó un periodo de 10 puntos para estimar los parámetros  $a^*$  y  $b^*$ , y se están utilizando para calcular el periodo 13 del tiempo, la notación será:

$$x^*_{10,13} = a^*_{10} + 13b^*_{10}$$

Lo que significa que los parámetros  $a^*$  y  $b^*$  fueron estimados usando los periodos del 1 al 10, y que se están usando para pronosticar el periodo 13 del tiempo.

En general, la ecuación se escribe como:

$$x^*_{t,u} = a^*_t + ub^*_t$$

Para poder hacer la estimación del pronóstico en un periodo mayor, desde el periodo  $u$  hasta el periodo  $v$ , se deben hacer las estimaciones individuales y luego sumarlas:

$$x^*_{t,u,v} = x^*_{t,u} + x^*_{t,u+1} + x^*_{t,u+2} + \dots + x^*_{t,v-1} + x^*_{t,v}$$

## SUAVIZAMIENTO EXPONENCIAL

Este método es utilizado para actualizar los parámetros  $a^*$  y  $b^*$ , de tal forma que se vayan adecuando a las nuevas tendencias que se presentan con el tiempo.

### Modelo matemático

El modelo sigue siendo el de la tendencia:

$$x_t = a + bt + n_t$$

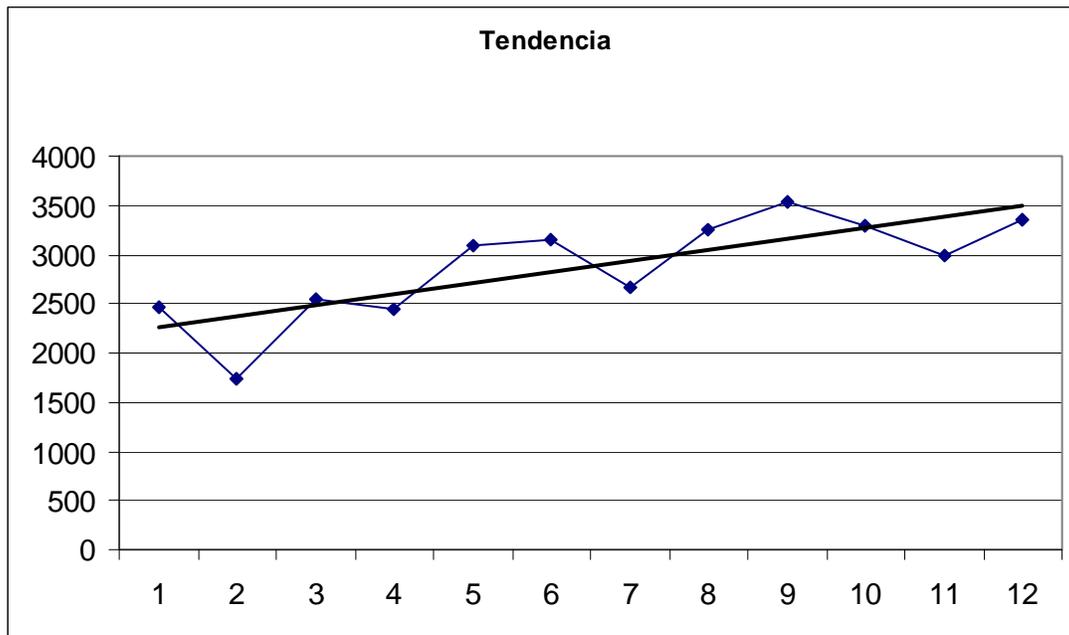


Figura 6 Datos reales con regresión a una recta. Elaboración propia.

### Inicialización y actualización de los parámetros

El ruido aleatorio  $n_t$  tiene un valor promedio de 0, tenemos que en el tiempo 0 el valor de  $a$  es el promedio de la demanda en el periodo 0. Por lo que es conveniente usar como valor inicial del modelo el nivel en el periodo  $t$ :

$$a_t = a + bt$$

El segundo parámetro será  $b$ , el cual indica qué tanto cambia el valor de  $a$  con el tiempo. Por lo que se tendrá que  $a^*_{t-1}$  y  $b^*_{t-1}$  serán los estimadores obtenidos al final de  $a_{t-1}$  y  $b_{t-1}$  del periodo  $t-1$ .

Si se tiene que  $x_t$  es la demanda observada en el periodo  $t$ , entonces la actualización de los parámetros está dado por las siguientes relaciones:

$$a^*_t = \alpha x_t + (1-\alpha)(a^*_{t-1} + b^*_{t-1})$$

$$b^*_t = \beta(a^*_t - a^*_{t-1}) + (1-\beta)b^*_{t-1}$$

#### Ecuación 4 Actualización de parámetros

donde  $\alpha$  y  $\beta$  son las constantes de suavizamiento y toman valores entre 0 y 1.

En estas expresiones se observa que  $a^*_{t-1} + b^*_{t-1}$  representan  $x^*_{t-1,t}$ , es decir, el pronóstico, o estimado, hecho al final del periodo  $t-1$  del nivel en el periodo  $t$ .

Por otro lado, se observa que  $a^*_t - a^*_{t-1}$  es la tendencia observada, o cambio en el nivel estimado del periodo  $t-1$  al periodo  $t$ ; mientras que  $b^*_{t-1}$  es el valor estimado de la tendencia hecho al final del periodo  $t-1$ . Por lo que se tiene una mezcla entre los parámetros observados y estimados.

Un cambio de variable y nombrando  $e_t$  al error de pronóstico observado en el periodo  $t$ , relacionado como:

$$e_t = x_t - x_{t-1,t}$$

se pueden re-escribir las ecuaciones de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} a^*_t &= x_{t-1,t} + \alpha e_t \\ b^*_t &= b^*_{t-1} + \alpha \beta e_t \end{aligned}$$

#### Ecuación 5 Actualización de parámetros, re-escrito

De aquí se puede decir que el ajuste en el *estimador* del nivel  $a$  en el periodo  $t$ , es un ajuste del estimado en  $t-1$  de acuerdo al error de pronóstico observado. Análogamente, el ajuste en la tendencia  $b$  para el periodo  $t$ , se da como un ajuste de la tendencia en  $t-1$  conforme a los errores observados. En este método, los datos históricos toman menos relevancia conforme se avanza en el tiempo y se buscan datos más antiguos.

Para inicializar los parámetros se puede utilizar el acercamiento similar al que se siguen en la regresión lineal, con un periodo de  $N$  periodos. De aquí que la relación que se puede usar para los parámetros iniciales es:

$$\begin{aligned} a_N^* &= a^* + b^* N \\ b_N^* &= b^* \end{aligned}$$

Ecuación 6 Parámetros iniciales

### Uso del modelo de pronóstico

Se tienen que el pronóstico hecho al final del periodo  $t$  para el futuro  $u$  es  $x_{t,u}^*$ , mientras que  $x_{t,u,v}^*$ , es el pronóstico hecho al final del periodo  $t$  para los periodos futuros de  $u$  hasta el periodo  $v$ .

Para las decisiones de abasto, se deben hacer el pronóstico de la demanda total que se presentará a lo largo del tiempo de entrega y el tiempo de revisión.

- $a_t^*$  será el nivel en  $t$ , hecho al final del periodo  $t$ .
- $b_t^*$  será la tendencia estimada al final del periodo  $t$ .

Dado que el pronóstico para el periodo  $t+1$  hecho al final del periodo  $t$  es:

$$x_{t,t+1}^* = a_t^* + b_t^* \text{ (el nivel actual más la tendencia)}$$

Cuando se hace para varios periodos en el tiempo se obtiene la siguiente relación:

$$x_{t,u}^* = a_t^* + (u-t)b_t^*$$

De manera análoga que en el modelo de regresión lineal, para poder estimar el pronóstico de varios periodos de tiempo, se debe hacer el estimado individual y luego hacer la suma de todos para obtener el total.

### Selección de las constantes de suavizamiento

Para poder utilizar el modelo del suavizamiento exponencial, se deben elegir las constantes de suavizamiento,  $\alpha$  y  $\beta$ , que se quieren utilizar. Los valores pequeños le darán un valor pequeño a los datos más recientes, mientras que los valores altos, le darán más peso a los datos más recientes. Cuando se tienen comportamientos estables en el tiempo, se pueden usar valores pequeños, sin embargo, si se observan cambios considerables en el periodo es mejor darle más peso a los datos recientes. Sin embargo, no se puede estar siempre seguro sobre si el error del pronóstico se da por acción del ruido aleatorio o por cuestiones propias de la estimación. Esto hace que se deban tener en cuenta esta situación al elegir las constantes.

Una forma de poder elegir estas variables es dividir la demanda histórica de los productos en dos secciones. Para cada par de  $\alpha$  y  $\beta$ , utilizar la primera sección de los datos para generar los pronósticos de la segunda sección, utilizando el método de suavizamiento exponencial. Medir el error de pronóstico generado para cada periodo utilizando el error cuadrático medio. El par de constantes que den como resultado el menor error cuadrático medio, será la mejor selección para inicializar el sistema.

## Glosario de términos

<u>Concepto</u>	<u>Descripción</u>
-----------------	--------------------

a	Nivel de demanda en el periodo.
CEDIS	Centros de Distribución.
$D_L$	Demanda durante el periodo de exposición.
EOQ	<i>Economic order quantity</i> . Cantidad económica a pedir.
F	Índice temporal del periodo.
Fcst	<i>Forecast</i> . Pronóstico.
$I_s$	Inventario de seguridad.
L	<i>Lead time</i> , tiempo de entrega.
MSE	<i>Mean Square Error</i> . Error cuadrático medio.
PWC	Price Water House Coopers, México. Empresa consultora.
PYMES	Pequeñas y Medianas Empresas.
RILA	<i>Retail Industry Leaders Association</i> , Asociación de Líderes en la Industria Detallista.
ROP	<i>Reorder point</i> . Punto de reorden.
SCP	<i>Supply chain planning</i> , planeación en la cadena de abasto.
SKU	<i>Stock keeping units</i> , modelos por proveedor.
SL	<i>Service Level</i> . Nivel de servicio.